Environnement Canada
Service de la protection de l'environnement

Environment Canada
Environmental Protection Service

collection
ENVIROGUIDE

L'URÉE

Canada

mai 1985

86-03114/

COLLECTION «ENVIROGUIDE»

La collection «Enviroguide» est constituée de guides d'information technique à utiliser en cas de déversements de matières dangereuses. Chaque guide fournit une masse considérable d'information relative au produit chimique dont il traite. L'information ainsi présentée a pour but d'aider l'utilisateur à mettre sur pied un plan d'intervention en cas d'accident et à évaluer les incidences sur l'environnement que peut avoir tel ou tel polluant. Le contenu de chacun des guides a été vérifié par la Direction des services techniques du Service de la protection de l'environnement avant que ne soit autorisée sa publication. Il est à noter qu'une telle autorisation n'implique pas que le contenu des guides reflète les points de vue ou la politique du Service de la protection de l'environnement. De même, le fait de mentionner des marques déposées ou des noms de produits commerciaux ne doit pas être interprété comme une forme de recommandation.

collection
ENVIROGUIDE

L'URÉE

SERVICE DE LA PROTECTION
DE L'ENVIRONNEMENT

DIRECTION GÉNÉRALE DES PROGRAMMES
DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

DIRECTION DES SERVICES TECHNIQUES

OTTAWA
MAI 1985
ENVIRONNEMENT CANADA

Publication
distribuée par la Section des publications
Service de la protection de l'environnement
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 1C8

Édition française de
Urea
préparée par le Module d'édition française

English copy available at the above mentioned address

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1986
N° de cat. En 48-10/44-1986F
ISBN 0-662-93597-7
IMPRIMERIE BEAUREGARD LIMITÉE

AVANT-PROPOS

La collection «Enviroguide» a été lancée officiellement en 1983. Elle est constituée de guides d'information technique sur les produits chimiques qui sont les plus souvent en cause dans les cas de déversements accidentels. Les guides, qui s'adressent à des spécialistes dans le domaine des déversements, sont conçus pour aider à planifier les interventions d'urgence et évaluer les incidences sur l'environnement.

Vu la grande quantité d'information présentée et le caractère très technique des guides, ces derniers ne s'adressent pas au personnel de première intervention, pour qui existent déjà des manuels plus appropriés.

L'information offerte a été glanée en majeure partie dans des publications déjà existantes. Les auteurs ont pris grand soin, aussi bien au stade de la compilation qu'à celui de la révision, de vérifier la justesse des éléments retenus. Néanmoins, il ne faut pas voir dans la publication de ces éléments d'information une forme de recommandation de la part du gouvernement du Canada ni de quelque autre groupe.

REMERCIEMENTS

La version définitive du présent guide est l'oeuvre du personnel du Service de la protection de l'environnement, qui a procédé à la refonte de nombreux passages du texte initial, ajouté maints renseignements et commentaires et préparé les schémas et les figures.

Le travail préliminaire avait été donné à contrat par Environnement Canada aux firmes M.M. Dillon Consulting Engineers and Planners, Concord Scientific Corporation et Waterloo Engineering Limited.

L'abondance de détails qu'on trouve dans le guide est le fruit de la collaboration de plusieurs personnes, organismes et institutions qui ont fourni des données et des conseils précieux, au stade de la compilation comme au stade de la rédaction. Sous ce rapport, l'Association canadienne des fabricants de produits chimiques mérite des remerciements particuliers.

TABLE DES MATIÈRES

	Avant-propos	III
	Remerciements	III
	Liste des figures	VII
	Liste des tableaux	VII
	Abréviations et symboles	VIII
	Sigles	IX
	Définitions	X
1	**Résumé**	1
2	**Propriétés physiques et chimiques**	3
3	**Production, transport et commerce**	8
3.1	Qualités et teneurs	8
3.2	Fabricants situés au Canada	8
3.3	Autres fournisseurs	8
3.4	Centres de production et transport	8
3.5	Volume de production	9
3.6	Fabrication industrielle	9
3.6.1	Information générale	9
3.6.2	Procédé de fabrication	9
3.7	Principales utilisations au Canada	10
3.8	Principaux acheteurs au Canada	10
4	**Manutention du produit et compatibilité**	11
4.1	Citernes et autres récipients d'expédition	11
4.1.1	Transport en vrac	11
4.1.1.1	Wagons-citernes	11
4.1.1.2	Véhicules-citernes routiers	15
4.1.2	Transport en colis	15
4.2	Déchargement	16
4.2.1	Équipement et opérations de déchargement des wagons-citernes	16
4.2.2	Spécifications et matériaux de fabrication de l'équipement de déchargement	16
4.3	Compatibilité entre le produit et certains matériaux	16
5	**Fuite et migration du produit**	19
5.1	Aperçu général	19
5.2	Fuite du produit	19
5.2.1	Introduction	19
5.2.2	Nomogrammes des fuites	20
5.2.2.1	Pourcentage de liquide restant en fonction du temps écoulé	20
5.2.2.2	Débit de fuite en fonction du temps écoulé	20
5.2.3	Exemples de calcul	20
5.3	Diffusion dans l'atmosphère	20
5.4	Comportement dans l'eau	22
5.4.1	Introduction	22
5.4.2	Nomogrammes de la diffusion du polluant dans l'eau	22
5.4.2.1	Diffusion dans les cours d'eau non soumis aux marées	23
5.4.2.2	Diffusion dans les lacs au repos et autres plans d'eau	23
5.4.3	Exemples de calcul	33
5.4.3.1	Teneur en polluant d'un cours d'eau non soumis aux marées	33
5.4.3.2	Teneur en polluant dans les lacs au repos et autres plans d'eau	33
5.5	Comportement dans le sol de surface et dans le sous-sol	33
5.5.1	Introduction	33
5.5.2	Migration du polluant dans un sol à capacité au champ	34
5.5.3	Coefficient de perméabilité d'un sol saturé vis-à-vis du polluant	34
5.5.4	Types de sol	34

5.5.5	Nomogrammes de la migration	36
5.5.6	Exemple de calcul	36
6	**Protection de l'environnement**	**41**
6.1	Limites maximales admissibles	41
6.1.1	Eau de boisson	41
6.2	Toxicité pour les espèces aquatiques	41
6.2.1	Évaluation de la toxicité aux USA	41
6.3	Toxicité pour les mammifères	41
6.3.1	Mesures de la toxicité	41
6.4	Autre toxicité dans l'air et sur terre	42
6.5	Études sur le devenir et les effets de l'urée	42
6.6	Dégradation du polluant	43
6.7	Devenir et effets à long terme	43
7	**Protection de la santé**	**44**
7.1	Normes d'exposition	44
7.2	Données sur l'action irritante	44
7.2.1	Contact avec la peau	44
7.2.2	Contact avec les yeux	44
7.3	Données sur les propriétés organoleptiques	45
7.3.1	Odeur	45
7.3.2	Saveur	45
7.4	Études sur les effets toxiques	45
7.4.1	Inhalation	45
7.4.2	Ingestion	45
7.4.3	Administration par voie sous-cutanée	46
7.4.4	Mutagénicité, tératogénicité et cancérogénicité	46
7.5	Symptômes et conséquences de l'intoxication	46
7.5.1	Inhalation	47
7.5.2	Ingestion	47
7.5.3	Contact avec la peau	47
7.5.4	Contact avec les yeux	47
7.6	Toxicité pour l'homme des produits de décomposition ou de combustion	47
8	**Compatibilité chimique**	**48**
8.1	Compatibilité entre l'urée et divers agents	48
9	**Mesures d'intervention et de sécurité**	**49**
9.1	Mesures recommandées	49
9.1.1	Danger d'incendie	49
9.1.2	Moyens d'extinction	49
9.1.3	Mesures d'intervention en cas de déversement	49
9.1.3.1	Information générale	49
9.1.3.2	Déversement sur le sol	49
9.1.3.3	Déversement dans l'eau	49
9.1.4	Traitement et élimination	49
9.1.5	Mesures de protection	50
10	**Cas de déversement accidentel**	**51**
10.1	Information générale	51
11	**Identification et dosage du polluant**	**52**
11.1	Dosage du polluant présent dans l'air	52
11.2	Dosage du polluant présent dans l'eau	52
11.2.1	Microcoulométrie	52
11.3	Identification du polluant présent dans l'eau	52
11.4	Dosage du polluant présent dans le sol	53
11.4.1	Spectrophotométrie	53
11.5	Identification du polluant présent dans le sol	53

12 Références et bibliographie 54
12.1 Références 54
12.2 Bibliographie 58

LISTE DES FIGURES

1 Solubilité dans l'eau en fonction de la température 6
2 Diagramme de phases 6
3 Masses volumiques des solutions aqueuses en fonction de la température 7
4 Tensions de vapeur des solutions en fonction de la température 7
5 Wagon-citerne de spécification 111A60W1 13
6 Wagons-trémies couverts, classe LO de l'ARR 14
7 Orifice au-dessous du niveau du liquide 20
8 Pourcentage de liquide restant en fonction du temps écoulé 21
9 Débit de fuite en fonction du temps écoulé 21
10 Étapes à suivre pour calculer la teneur en polluant d'un cours d'eau non soumis aux marées 24
11 Distance en fonction du temps 25
12 Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal 26
13 Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique 27
14 Alpha en fonction du coefficient de diffusion turbulente 28
15 Delta en fonction d'alpha 29
16 Teneur maximale en fonction de delta 30
17 Volume d'eau en fonction du rayon hydraulique 31
18 Teneur moyenne en fonction du volume d'eau 32
19 Migration dans le sous-sol 35
20 Plan d'utilisation des nomogrammes 37
21 Migration dans un sable grossier 38
22 Migration dans un sable limoneux 39
23 Migration dans un till argileux 40

LISTE DES TABLEAUX

1 Nomogrammes de conversion 5
2 Spécifications CCT/DOT s'appliquant aux wagons-citernes utilisés pour l'urée 11
3 Caractéristiques du wagon-citerne de spécification 111A60ALW1 13
4 Caractéristiques du wagon-trémie couvert de classe LO (AAR) utilisé pour l'urée 15
5 Compatibilité entre l'urée et certains matériaux de fabrication 17

ABRÉVIATIONS ET SYMBOLES

adf	Antidéflagrant
atm	Atmosphère
B	Périmètre mouillé
c.f.	Coupelle fermée
c.o.	Coupelle ouverte
CPG	Chromatographie en phase gazeuse
d	Densité
d vap	Densité de vapeur
d.-v.	Demi-vie
D ext.	Diamètre extérieur
D int.	Diamètre intérieur
DAMM	Diamètre aérodynamique moyen en masse
DBO	Demande biochimique en oxygène
DCO	Demande chimique en oxygène
D_e	Diamètre d'entrée
DIF	Détecteur d'ionisation à flamme
DMM	Diamètre moyen en masse
DMN	Diamètre moyen en nombre
DMV	Diamètre moyen en volume
DPI	Détecteur à photo-ionisation
D_s	Diamètre de sortie
DL min.*	Dose létale minimale
DL 50*	Dose létale moyenne
DT min.	Dose toxique minimale
et coll.	Et collaborateurs
eV	Électronvolt
f.n.éq.	Fumée normalisée équivalente
gal imp.	Gallon impérial
h	Hauteur
IDLH*	*Immediately Dangerous to Life or Health*
IR	Infrarouge
j	Jour
J	Joule
K	Coefficient de perméabilité
K_0	Coefficient de perméabilité d'un sol saturé
k	Coefficient de perméabilité intrinsèque
l	Litre
L.I.E.	Limite inférieure d'explosibilité
L.I.I.	Limite inférieure d'inflammabilité
L.S.E.	Limite supérieure d'explosibilité
L.S.I.	Limite supérieure d'inflammabilité
m	Masse
M	Molaire
MAK*	Teneur maximale admissible
MAK-D*	Teneur maximale admissible
MAK-K*	Teneur maximale admissible – courte durée
max.	Maximum
mé/l	Milliéquivalent par litre
MIK*	Teneur maximale d'immission
min.	Minimum
mn	Minute
M mol.	Masse moléculaire
M vol.	Masse volumique
mol	Mole
MPT	Moyenne pondérée en fonction du temps
N	Newton
N	Normal
Pa . s	Pascal seconde
pds éq.	Poids équivalent
ppb	Parties par milliard (10^{-9})
ppm	Parties par million (10^{-6})
ppt	Parties par mille (10^{-3})
psi	*Pounds per square inch*
P	Pression
P_c	Pression critique
PEL*	*Permissible Exposure Limit*
Po	Poise
Pt cong.	Point de congélation
Pt déf.	Point de déflagration
Pt dét.	Point de détonation
Pt ébul.	Point d'ébullition
Pt écl.	Point d'éclair
Pt écoul.	Point d'écoulement
Pt fus.	Point de fusion
Pt liq.	Point de liquéfaction
PVC	Chlorure de polyvinyle
q	Débit
q_e	Débit d'entrée
q_f	Débit de fuite
q_m	Débit-masse
q_s	Débit de sortie
q_v	Débit-volume
std	Standard
SM	Spectroscopie de masse
St	Stokes
STEL*	*Short Term Exposure Limit*
t	Tonne
t	Temps
temp.	Température
$temp._a$	Température ambiante
$temp._c$	Température critique
TE 50*	Teneur efficace moyenne
tf	Tonne forte
TI 50*	Teneur inhibitrice moyenne
TLm*	Tolérance moyenne
TL min.*	Teneur létale minimale
TL 50*	Teneur létale moyenne
TLV®*	*Threshold Limit Value*

TLV® - C*	*Threshold Limit Value-Ceiling*
TPN	Température et pression normales
TT min.*	Teneur toxique minimale
u	Vitesse du vent
μ	Viscosité
vap	Vapeur
V	Vitesse d'écoulement
V biod.	Vitesse de biodégradation
V évap.	Vitesse d'évaporation
vol.	Volume
°Bé	Degré Baumé
°C	Degré Celsius
ϕ	Diamètre
x	Distance sous le vent
⚒	Ne pas utiliser d'eau comme moyen d'extinction

SIGLES

ACGIH	American Conference of Government Industrial Hygienists
ANSI	American National Standards Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWQC	Ambient Water Quality Criteria (USA)
AWWA	American Water Works Association
CBG	Chemical Buyers' Guide (USA)
CCD	Condensed Chemical Dictionary (USA)
CCPA	Canadian Chemical Producers Association
CCT	Commission canadienne des transports
CHRIS	Chemical Hazards Response Information System (USA)
DOT	Department of Transportation (USA)
EPA	Environmental Protection Agency (USA)
ITII	International Technical Information Institute (Japon)
MCA	Manufacturing Chemists Association (USA)
MDT	Ministère des Transports (du Canada)
NACE	National Association of Corrosion Engineers (USA)
NAS	National Academy of Sciences (USA)
NFPA	National Fire Protection Association (USA)
NIOSH	National Institute of Occupational Safety and Health
NRC	National Research Council (USA)
OSHA	Occupational Safety and Health Administration (USA)
STCC	Standard Transportation Commodity Code (Amérique du Nord)

* Notions expliquées dans la section Définitions.

DÉFINITIONS

Les définitions figurant ci-dessous valent pour la collection «Enviroguide». Le lecteur notera qu'elles n'ont pas toujours une portée générale. Pour plus de détails, ou pour d'autres définitions, se reporter au manuel d'introduction de la collection.

Bio-accumulation. – Rétention sans cesse croissante d'une substance dans les tissus d'un organisme tout au long de son existence (le facteur de bio-concentration augmentant sans cesse).

Bio-amplification. – Rétention d'une substance dans les tissus à des teneurs de plus en plus élevées au fur et à mesure que l'on s'élève dans la hiérarchie des organismes de la chaîne alimentaire.

Bioconcentration. – Rétention d'une substance dans les tissus d'un organisme au point que la teneur des tissus en cette substance surpasse la teneur du milieu ambiant en cette substance, à un moment donné de la vie de cet organisme.

Concentration. – Comme ce mot a des sens multiples et parfois mal définis selon qu'il s'agit de chimie, de biologie ou d'écologie, on lui a préféré des termes jugés plus précis, tels titre, teneur et bioconcentration.

Contaminant. – Polluant qui figure sur une liste de produits dangereux, établie en vertu de la Loi sur les contaminants de l'environnement.

Dose létale minimale. – Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la dose définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible dose (autre que la DL 50) d'une substance dont l'absorption, excluant l'inhalation, en une ou plusieurs prises, au bout d'un temps donné, a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. DL min.

Dose létale moyenne (1). – Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la dose qui tue, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. DL 50.

Dose létale moyenne (2). – À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité pour l'homme, il s'agit de la dose (calculée) d'une substance censée entraîner, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'absorption, excluant l'inhalation, d'une quantité de cette substance par un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. DL 50.

Dose toxique minimale. – La plus faible dose d'une substance, introduite par toute autre voie que l'inhalation, pendant quelque période de temps que ce soit, dont l'absorption a été signalée comme cause d'effet toxique chez des personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou les personnes. Abrév. DT min.

Facteur de bioconcentration. – Rapport de la teneur en une substance des tissus d'un organisme exposé (moins la teneur des tissus d'un organisme témoin) à la teneur en cette substance du milieu ambiant.

IDLH *(Immediately Dangerous to Life or Health).* – Teneur plafond à laquelle, dans un délai maximal d'exposition de 30 minutes, il est possible à une personne de fuir les lieux exposés sans qu'il n'y ait manifestation de signes fonctionnels d'intoxication, perturbation irréversible de la santé ou décès. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

Immission. – Transfert d'un polluant de l'atmosphère vers un «récepteur» qui peut être une personne, un animal, une plante. La teneur maximale d'immission, mentionnée au chapitre 7, se rapporte au polluant retenu dans les poumons. Il s'agit d'un concept d'origine allemande, adopté par l'ISO.

Létal. – En toxicologie, synonyme de mortel.

MAK *(Maximale Arbeidsplatz Konzentration).* – Teneur limite moyenne admissible en milieu de travail, compte tenu de semaines de 45 heures et de journées de 8 heures. Il s'agit d'une norme établie par la RFA.

MAK-D. – Teneur limite moyenne admissible en milieu de travail, compte tenu de semaines de 45 heures et de journées de 8 heures. Il s'agit d'une norme établie par la RDA.

MAK-K. – Teneur limite admissible en milieu de travail pour une période très courte ne dépassant pas 30 minutes. Il s'agit d'une norme établie par la RDA.

PEL *(Permissible Exposure Limit).* – Teneur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle peuvent être exposés des travailleurs pendant une période de relève. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

Polluant. – Agent physique, chimique ou biologique qui provoque une dégradation dans un milieu donné.

STEL (TLV – *Short Term Exposure Limit*). –Teneur limite à laquelle les travailleurs peuvent être exposés

de façon continue pour une courte période sans souffrir d'irritation, de dommage irréversible aux tissus ou d'une narcose suffisamment grave pour accroître la probabilité de blessure par accident, diminuer la capacité de fuir ou réduire physiquement l'efficacité au travail, en prenant pour acquis que la TLV quotidienne n'a pas été dépassée. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

Teneur. – Quantité de matière solide, liquide ou gazeuse, rapportée à une masse ou à un volume d'autres matières dans lesquelles elle est en mélange, suspension ou dissolution.

Teneur efficace moyenne. – Dans le cas de la toxicité pour la micro-faune, il s'agit de la teneur à laquelle se produit, chez 50 p. 100 de la population, pour une durée d'exposition donnée, un effet tel que l'immobilisation, la perte de l'équilibre, une déficience de croissance ou même la mort. Abrév. TE 50.

Teneur inhibitrice moyenne. – Dans le cas de la toxicité pour la micro-flore ou la micro-faune, il s'agit de la toxicité qui inhibe à 50 p. 100 une activité biologique (par exemple, la croissance) en un temps déterminé. Abrév. TI 50.

Teneur létale minimale. – Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la teneur définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible teneur (autre que la TL 50) de l'air en une substance dont l'inhalation a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. TL min.

Teneur létale moyenne (1). – Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la teneur à laquelle meurent, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. TL 50.

Teneur létale moyenne (2). – À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité pour l'homme, il s'agit de la teneur (calculée) de l'air en une substance dont l'inhalation est censée provoquer, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'exposition d'un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. TL 50.

Teneur plafond. – Teneur maximale admissible établie pour une durée d'exposition bien déterminée, dans le cas d'une substance très toxique. (L'IDLH et la TLV®-C sont des teneurs plafonds.)

Teneur toxique minimale. – La plus faible teneur de l'air en une substance à laquelle des personnes ou des animaux ont été exposés, pour quelque période de temps que ce soit, sans qu'il y ait eu d'effet toxique chez les personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou les personnes. Abrév. TT min.

Titre (d'une solution, en chimie). – Rapport de la masse d'une substance dissoute à la masse totale ou du nombre de moles d'un constituant au nombre total de moles.

TLV® *(Threshold Limit Value).* – Teneur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle la majorité des travailleurs peuvent être exposés régulièrement à raison de 8 heures par jour, 5 jours par semaine, sans subir d'effet nocif. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

TLV®-C *(Threshold Limit Value-Ceiling).* – Teneur limite admissible pour un moment donné. Il s'agit d'une valeur plafond définie et déterminée par l'ACGIH.

Tolérance moyenne. – Niveau de tolérance correspondant à la teneur à laquelle 50 p. 100 des sujets d'un test survivent au bout d'un temps donné. Abrév. TLm.

1 RÉSUMÉ

Urée (NH_2CONH_2)
Granules ou sphérules blanches; ou liquide transparent.

Synonymes
Carbamide, carbonyldiamine, acide carbamimidique (syn. anglais: *urea*)

Appellation commerciales
Prespersion, 75 Urea, Ureophil, Urevert, Aquadrate

Numéros d'identification
Aucune étiquette de danger requise (numéro ONU absent); CAS 57-13-6; OHM-TADS 7216493; n° STCC non requis.

Qualités et titres
Solide: qualité technique (sphérules), qualité engrais (sphérules ou granules), 95 p. 100 ou plus d'urée; l'urée à 99,7 p. 100 contient 46 p. 100 de N_2 en poids.
Liquide: solutions aqueuses contenant 50 à 80 p. 100 d'urée.

Dangers immédiats
Incendie. – L'urée n'est pas combustible.
Effets sur l'homme. – L'urée est relativement peu toxique.
Effets sur l'environnement. – À de fortes teneurs, l'urée est nocive pour les espèces aquatiques.

Données relatives aux propriétés physiques
État (15 °C, 1 atm): solide
Point d'ébullition: se décompose avant de bouillir
Point de fusion: 133 °C
Inflammabilité: non combustible; se décompose en libérant de l'ammoniac à plus de 133 °C.
Densité relative: 1,335 (20 °C/4 °C)
Solubilité (eau): 51,6 g/100 g (20 °C)
Comportement (eau): coule au fond et se mélange; aucune réaction.

Dangers pour l'environnement
L'urée est toxique pour les organismes et micro-organismes à des teneurs supérieures à 10 000 mg/l, ainsi que pour les animaux domestiques à des doses supérieures à 500 mg/kg.

Dangers pour l'homme
Aucune TLV® ni IDLH n'ont été établies.
Effets en cas de contact. – Rougeur et irritation de la peau et des yeux.

Dispositions immédiates à prendre
• En cas de déversement
Interdire l'accès aux lieux de l'accident. Prévenir le fabricant. Arrêter l'écoulement et confiner la nappe de liquide, si cela ne présente aucun danger. Empêcher toute eau polluée d'atteindre un égout ou un cours d'eau.
• En cas d'incendie
L'urée est incombustible; la plupart des agents de lutte contre l'incendie peuvent être utilisés sur les lieux d'un incendie où se trouve de l'urée.

Mesures d'intervention d'urgence

• Urée répandue sur le sol

Si l'urée est à l'état solide, la ramasser à la pelle et la mettre dans des récipients, puis recouvrir. Construire des barrages pour confiner la nappe ou la diriger vers des surfaces imperméables. Enlever le produit manuellement ou au moyen de machines. Éponger les petites quantités de liquide déversé à l'aide de sorbants synthétiques ou naturels; mettre à la pelle dans des récipients et recouvrir.

• Urée déversée dans l'eau

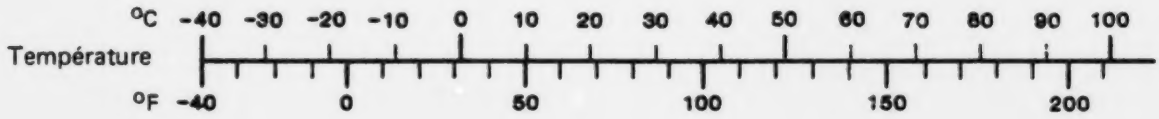
Confiner au moyen de barrages, d'ouvrages de dérivation ou d'obstacles naturels. Recueillir et épurer les liquides pollués.

2 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES

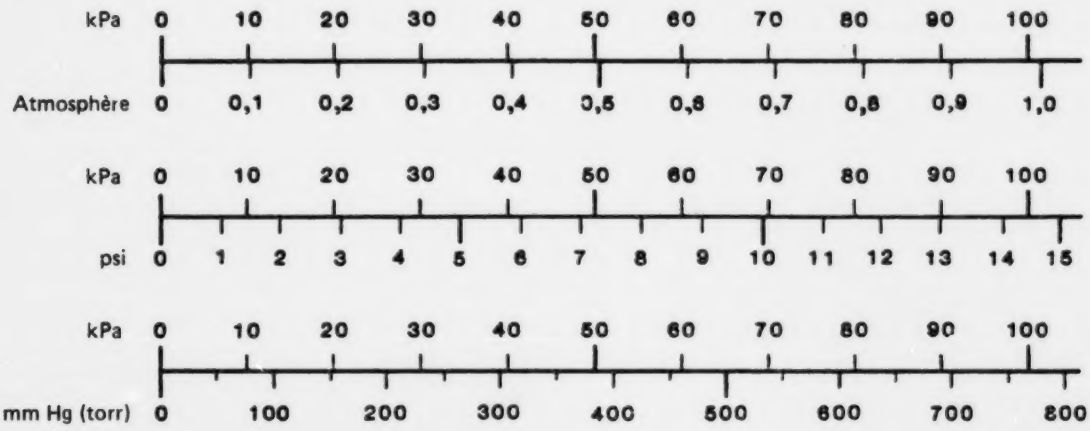
Aspect	Solide blanc granulaire ou liquide transparent (Sherritt MSDS)
État(s) habituel(s) à l'expédition	Solide: en granules ou en sphérules (Olin PD, 1981; Sherritt MSDS) Liquide: solutions aqueuses
État d'agrégation (15 °C, 1 atm)	Solide
Variables d'état	
Point de fusion	132,7 °C (Olin PD, 1981; Ullmann, 1975)
Point d'ébullition	Se décompose avant de bouillir (Olin PD, 1981)
Température de décomposition	135 °C (Kirk-Othmer, 1983)
Densité et masse volumique	
Masse volumique	1,3230 g/ml (20 °C), 1,147 g/ml (solution saturée à 20 °C) (Kirk-Othmer, 1983)
Densité relative	1,335 (20°/4 °C) (Sherritt MSDS)
Masse volumique apparente	0,74 g/cm^3 (Kirk-Othmer, 1983)
Propriétés relatives à la combustion	
Inflammabilité	Solide incombustible (Olin PD, 1981)
Température de décomposition	135 °C (Kirk-Othmer, 1983)
Produits de décomposition	Biuret, ammoniac et acide cyanurique (Merck, 1976)
Solubilité	
Eau	Solution 51,6 g/100 g (20 °C) (Kirk-Othmer, 1983)
Autres corps	Très soluble dans le méthanol et l'éthanol. Soluble dans l'acide acétique et la pyrimidine. Insoluble dans le diéthyléther, le chloroforme et le benzène (CRC, 1980). Solubilité dans le méthanol: 22 g/100 g de solution; dans l'éthanol, 5,4 g/100 g de solution (Ullmann, 1975).
Azéotropes	Forme un azéotrope avec l'eau (67,5 p. 100 en masse) qui gèle à -11,5 °C.
Autres propriétés	
Masse moléculaire du corps pur	60,06 (CRC, 1980)
Composition caractéristique d'une solution commerciale	98 p. 100 d'urée, 1 p. 100 de formaldéhyde, 1 p. 100 de biuret ($H_2NCONHCONH_2$) (Sherritt MSDS)
Indice de réfraction	1,484 (CRC, 1980) 1,3535 (solution 5 *N*, 35 °C) (Chao, 1967)
Viscosité	1,78 mPa . s (solution à 46 p. 100 à 20 °C) 1,81 mPa . s (fusion à 137 °C) (Ullmann, 1975) 1,90 mPa . s (solution saturée à 20 °C) (Kirk-Othmer, 1983)

Tension de vapeur	1,73 kPa (20 °C), 5,33 kPa (40 °C) (solutions saturées en eau) (Kirk-Othmer, 1983)
Chaleur latente de fusion	15,1 kJ/mol (au point de fusion) (Kirk-Othmer, 1983; Ullmann, 1975)
Chaleur latente de sublimation	87,9 kJ/mol (25 °C) (Lange's Handbook, 1979)
Chaleur de formation	-333,7 kJ/mol (25 °C) (Sussex, 1977)
Entropie	105,5 kJ/(mol . K) (Ullmann, 1975)
Potentiel d'ionisation	9,7 eV (Debies, 1974)
Chaleur de dissolution	-15,1 kJ/mol (20 °C) (Perry, 1973) -14,1 kJ/mol (25 °C) (Ullmann, 1975)
Capacité thermique massique à pression constante	80,5 J/(mol . °C) (solide à 20 °C) (Ullmann, 1975) 86 J/(mol . °C) (0 °C) (Kirk-Othmer, 1983)
Diffusivité	$1{,}37 \times 10^{-5}$ cm^2/s (dans l'eau à 20 °C) (Perry, 1973)
pH de la solution aqueuse	7,2 (solution à 10 p. 100), (Merck, 1976)
Log_{10} du coefficient de partage octanol-eau	-1,09 (Hansch et Leo, 1979)
Moment dipolaire	4,56, 3,5 (22 °C) (Chao, 1967)
Constante diélectrique	86,1 (solution 3 *N* à 20 °C) (Chao, 1967)

URÉE — NOMOGRAMMES DE CONVERSION



Pression — 1 kPa = 1000 Pa



Viscosité

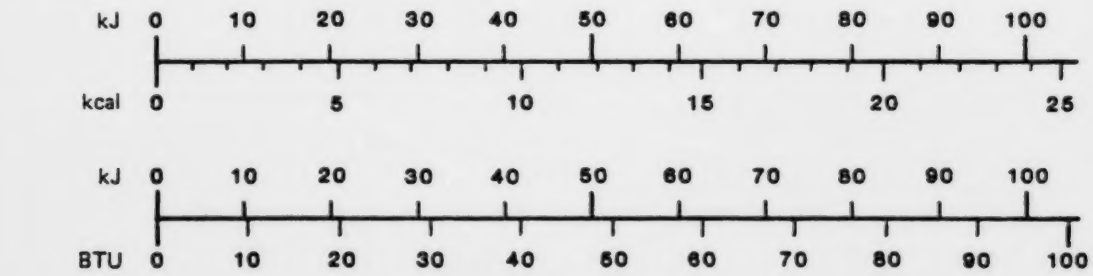
Dynamique — 1 Pa·s = 1000 centipoises (cPo)

Cinématique — 1 m^2/s = 1 000 000 centistokes (cSt)

Teneur (de l'eau)

1 ppm ≅ 1 mg/l

Énergie (chaleur) — 1 kJ = 1000 J



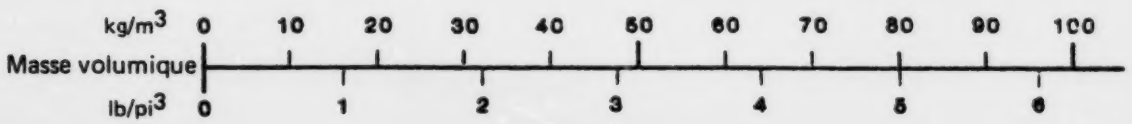


Figure 1

URÉE

SOLUBILITÉ DANS L'EAU
EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Source: Kirk-Othmer, 1983

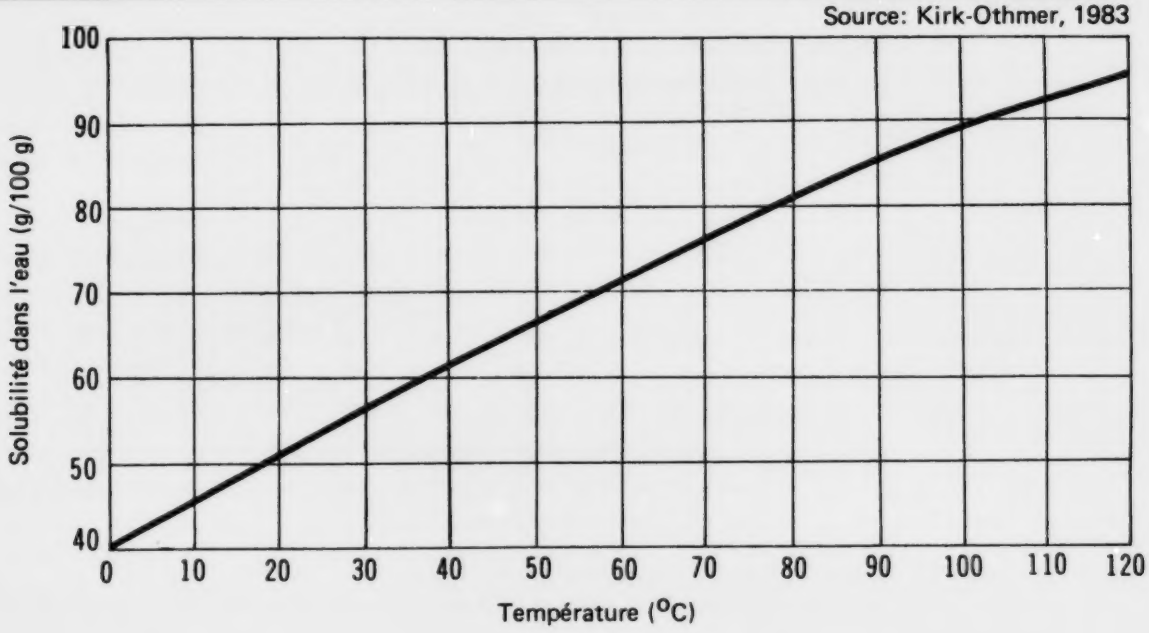


Figure 2

URÉE

DIAGRAMME DE PHASES

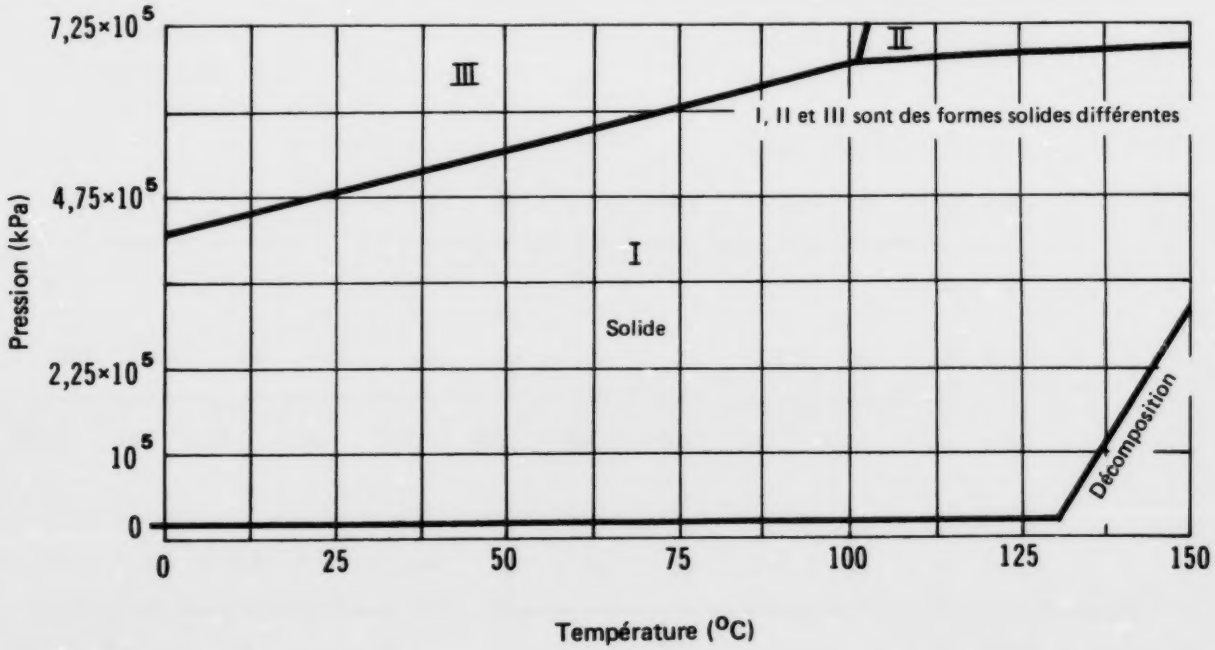


Figure 3

URÉE

MASSES VOLUMIQUES DES SOLUTIONS AQUEUSES EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Source: Chao. 1967

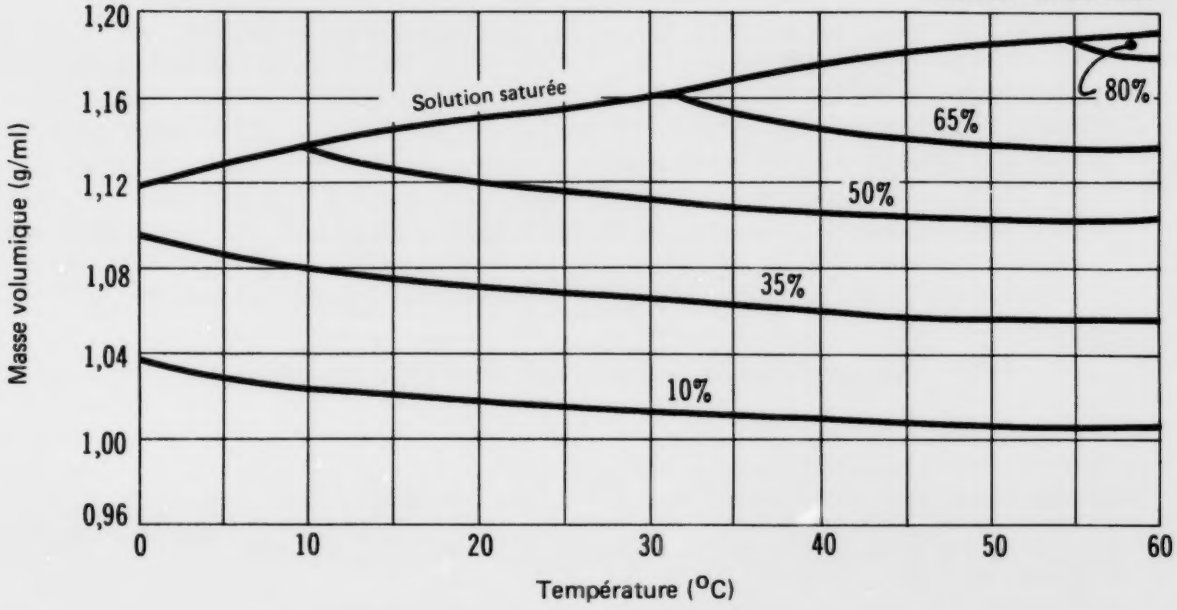
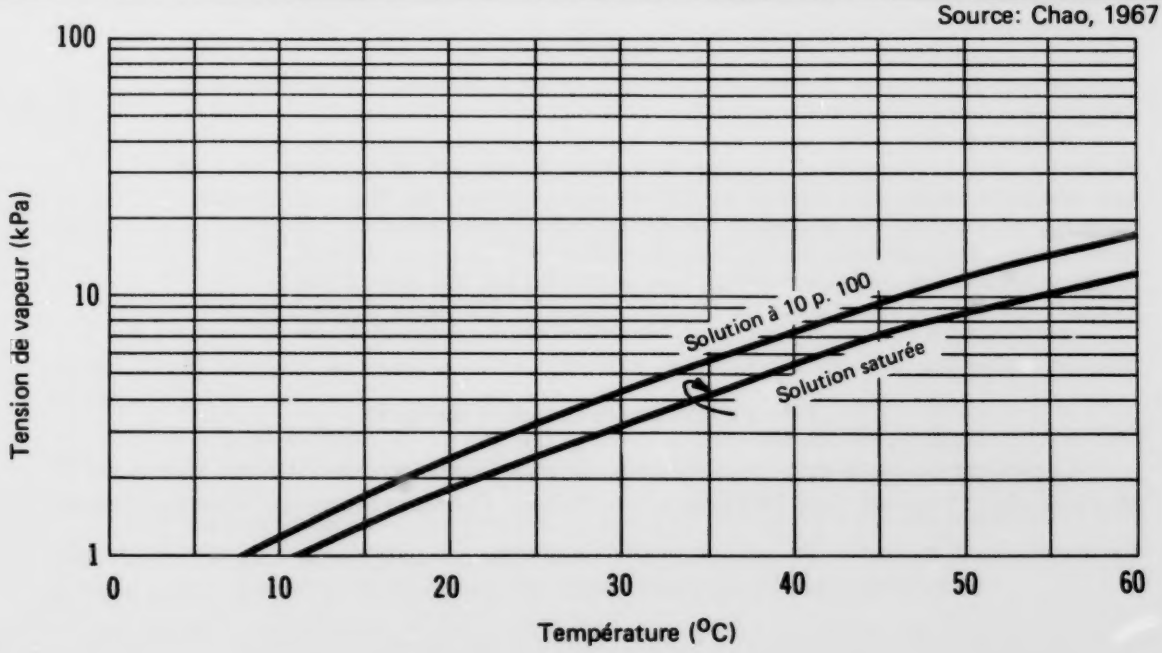


Figure 4

URÉE

TENSIONS DE VAPEUR DES SOLUTIONS EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Source: Chao, 1967



3 PRODUCTION, TRANSPORT ET COMMERCE

3.1 Qualités et teneurs (Sherritt, 1982; Cyanamid, 1982; CCPA, 1984)

L'urée est vendue sous forme solide ou en solutions aqueuses, en plusieurs qualités. Les solutions du commerce contiennent entre 50 et 80 p. 100 d'urée. L'urée solide (produite en qualités atteignant jusqu'à 99 p. 100 d'urée) existe dans les qualités suivantes: qualité engrais régulière, urée en granules ou en sphérules contenant moins de 1,5 p. 100 de biuret; qualité spéciale, en sphérules, pour des applications particulières comme engrais, contenant moins de 0,3 p. 100 de biuret; qualité technique, en sphérules; et enfin qualité provende, en sphérules ou microsphérules. *Remarque.* – La plupart des produits solides contiennent de 0,5 à 1,0 p. 100 de biuret, sauf indication contraire. De plus fortes teneurs en biuret (> 2 p. 100) sont néfastes pour la croissance des plantes. Certains types d'urée contiennent de 0 à 1 p. 100 de formaldéhyde.

3.2 Fabricants situés au Canada (Corpus, 1983; CBG, 1980; Scott, 1979)

Les adresses ci-dessous sont celles de sièges sociaux: elles ne sont pas destinées à servir de premier recours en d'accident.

Canadian Fertilizers, P.O. Box 1300, Medicine Hat, Alberta, T1A 7N1, (403) 527-8887
C-I-L Inc., P.O. Box 200, Station A, 90 Sheppard Avenue East, North York, Ontario, M2N 6H2, (416) 226-6110
Cominco, 200 Granville Street, Vancouver, Colombie-Britannique, V6C 2R2, (604) 682-0611
Cyanamid Canada Inc., 2255 Sheppard Avenue East, Willowdale, Ontario, M2J 4Y5, (416) 498-9405
Nitrochem Inc., 2055, rue Peel, suite 800, Montréal, Québec, H3B 2X8, (514) 849-9222.
Sherritt Gordon Mines Ltd., Box 28, Commerce Court West, Toronto, Ontario, M5L 1B1, (416) 363-9241
Simplot Chemical Co. Ltd., P.O. Box 940, Brandon, Manitoba, R7A 6A1, (204) 728-5701

3.3 Autres fournisseurs (CGB, 1980; Corpus, 1983; Scott, 1979)

Arliss Chemical Co. Inc., 325, boul. Hymus, Pointe-Claire, Québec, H9R 1G8, (514) 694-2170
BASF Canada Ltd., 5850, Côte de Liesse, Montréal, Québec, H4T 1C1, (514) 341-5411
Canada Colours and Chemicals Ltd., 80 Scarsdale Road, Don Mills, Ontario, M3B 2R7, (416) 924-6831
Coté Chemicals Inc., 111, parc Bombardier, Chateauguay Centre, Québec, J6J 3X0, (514) 691-6260
Esso Chemical Canada, Division of Imperial Oil Ltd., 2300 Yonge Street, Toronto, Ontario, M5W 1K3, (416) 488-6600
Harrisson & Crosfield (Canada) Ltd., 4 Banigan Drive, Toronto, Ontario, M4H 1G1, (416) 425-6500
International Chemical Canada Ltd., P.O. Box 385, Brampton, Ontario, L6V 2L3, (416) 453-4234
Mallinckrodt Canada Inc., 600, av. Delmar, Pointe-Claire, Québec, H9W 1E6, (514) 695-1220
Nitrochem Inc., 2055, rue Peel, suite 800, Montréal, Québec, H3B 2X8, (514) 849-9222
Shefford Chemicals Ltd., 1028, rue Principale, Granby, Québec, J2G 8C8, (514) 378-0125
United Co-operatives of Ontario (Captive), 151 City Centre Drive, Mississauga, Ontario, L5A 3A4, (416) 270-3560

3.4 Centres de production et transport

La plus grande partie de la production canadienne d'urée vient de l'Alberta, c'est-à-dire de Medicine Hat, Carseland, Fort Saskatchewan et Calgary. Quelques usines sont situées en Ontario

à Courtright, Maitland et Niagara Falls; une autre est située à Brandon au Manitoba. Le produit est transporté en wagons couverts, en wagons-citernes, en camions-citernes ou en camions à plate-forme.

3.5 Volume de production (Corpus, 1983)

Capacité nominale de production et total des approvisionnements

Société	Emplacement de l'usine	Capacité nominale kt/an (1982)
Canadian Fertilizers	Medicine Hat, Alberta	435
C-I-L	Courtright, Ontario	160
Cominco	Calgary, Alberta	70
Cominco	Carseland, Alberta	435
Cyanamid Canada	Niagara Falls, Ontario	90
Nitrochem	Maitland, Ontario	45*
Sherritt Gordon Mines	Fort Saskatchewan, Alberta	80
Simplot Chemical	Brandon, Manitoba	142
Total		1457
Production nationale (1982)		1230,5
Importations (1982)		101
Total des approvisionnements		1331,5

* Usine encoconnée en 1983.

C-I-L prévoit agrandir son usine de Courtright (Ontario) pour augmenter sa capacité de 134 kt/an (CCP, 1982b). Sherritt Gordon (Fort Saskatchewan) augmente présentement sa capacité de 220 kt/an; et Simplot (Brandon, Manitoba), de 115 kt/an (Corpus, 1983).

3.6 Fabrication industrielle (Kirk-Othmer, 1983; Sullivan, 1982; FKC, 1975)

3.6.1 Information générale. – L'urée est synthétisée par la réaction de l'ammoniac anhydre et du dioxyde de carbone, qui forme du carbamate d'ammonium, ensuite décomposé en urée.

3.6.2 Procédé de fabrication. – On achemine dans un réacteur un excès d'ammoniac liquide et du dioxyde de carbone gazeux (rapport habituel: 2,5:1), avec une petite quantité d'eau:

$$2NH_3 + CO_2 \rightarrow \underset{\text{(carbamate d'ammonium)}}{NH_4CO_2NH_2} \rightarrow \underset{\text{(urée)}}{NH_2CONH_2} + H_2O$$

Cette réaction s'effectue à une pression d'environ 20 000 kPa et à une température de 180 à 200 °C, en présence d'un catalyseur métallique. La conversion en carbamate d'ammonium est presque quantitative et la conversion en urée atteint 50 à 70 p. 100 selon le procédé.

Le mélange réactionnel passe ensuite par une série de décomposeurs où la pression est réduite et le carbamate d'ammonium non converti est décomposé par la chaleur. L'ammoniac et le dioxyde de carbone qui en résultent, ainsi que l'excès d'ammoniac de la charge initiale, sont ensuite recyclés.

L'urée solide est produite par distillation ou par cristallisation sous vide de l'eau provenant de la solution d'urée; des sphérules sont formées en laissant tomber de l'urée fondue d'une tour de pulvérisation. On peut ajouter des ingrédients anti-agglomérants à cette étape pour faciliter la manipulation et le stockage.

3.7 **Principales utilisations au Canada** (Corpus, 1983)

L'urée est utilisée pour la fertilisation directe, la fertilisation des forêts, dans les solutions d'azote (et azote-phosphate), dans les mélanges d'engrais, les provendes des animaux et les résines d'urée-formaldéhyde. En 1982, 44 p. 100 de la production intérieure étaient exportés, 37 p. 100 étaient utilisés pour la fertilisation directe et 8 p. 100 servaient à la préparation de solutions d'azote.

3.8 **Principaux acheteurs au Canada** (Corpus, 1983; CCPA, 1984)

Agricultural Chemicals, London, Ont.
Borden Chemical, Toronto, North Bay, Ont.
Canada Packers, Toronto, Ont.
Coopérative fédérée du Québec, Montréal, QC
William Houde, Laprairie, QC
MacMillan Bloedel, Vancouver, C.-B.
Monsanto Canada, LaSalle, QC
Nitrochem Inc., Montréal, QC
Northwood Pulp, Prince George, C.-B.
Nutrite Inc., Toronto, Ont.
Pacific Logging, Victoria, C.-B.
Perkins Adhesives, Valleyfield, QC
Reichhold, North Bay, Ont.
St. Regis Alberta, Hinton, Alb.
United Cooperatives of Ontario, Mississauga, Ont.

4 MANUTENTION DU PRODUIT ET COMPATIBILITÉ

4.1 Citernes et autres récipients d'expédition

4.1.1 Transport en vrac. – Une grande partie de la production d'urée est expédiée à l'état solide par chemin de fer ou par route, ou à l'état de solution par chemin de fer.

4.1.1.1 Wagons-citernes. – Les wagons-citernes utilisés pour transporter les solutions d'urée ne font pas l'objet d'une réglementation. Les wagons-citernes communément utilisés sont décrits au tableau 2. Suivant la catégorie à laquelle ils appartiennent, ils peuvent être déchargés par le haut ou par le bas. Les citernes peuvent être déchargées par pompage par le haut ou par le bas, ou par l'action de la pesanteur par le bas (PC, 1982). Un wagon-citerne type est illustré à la figure 5; des précisions relatives à ce wagon sont données dans le tableau 3.

Tableau 2
Spécifications CCT/DOT s'appliquant aux wagons-citernes utilisés pour l'urée

Numéro	Description
111A60W1	Citerne en acier soudée par fusion, sans dôme, isolée ou non isolée. Volume libre non inférieur à 2 p. 100. Indicateur de niveau. Soupape de sécurité, 242 kPa (35 lb/po^2) ou évent de sécurité, 414 kPa (60 lb/po^2). Pression d'essai, 414 kPa (60 lb/po^2). Résines d'urée seulement.
111A60W1 (IL)	Comme 111A60W1, sauf que l'intérieur du réservoir est doublé pour les solutions d'urée.
111A60ALW1	Citerne en aluminium soudée par fusion, sans dôme. Isolée ou non isolée. Volume libre non inférieur à 2 p. 100. Indicateur de niveau. Soupape de sécurité, 242 kPa (35 lb/po^2), ou évent de sécurité, 414 kPa, 60 lb/po^2. Orifice de déchargement par le bas ou orifice de purge facultatifs. Pression d'essai, 414 kPa, 60 lb/po^2. Pour les solutions et les résines d'urée.
111A100W6	Citerne en acier inoxydable soudée par fusion, sans dôme. Isolée ou non isolée. Volume libre non inférieur à 2 p. 100. Indicateur de niveau. Soupape de sécurité, 518 kPa, (75 lb/po^2) ou évent de sécurité, 690 kPa (100 lb/po^2). Organe de déchargement par le bas ou orifice de purge facultatifs. Pression d'essai, 690 kPa (100 lb/po^2). Résines d'urée seulement.

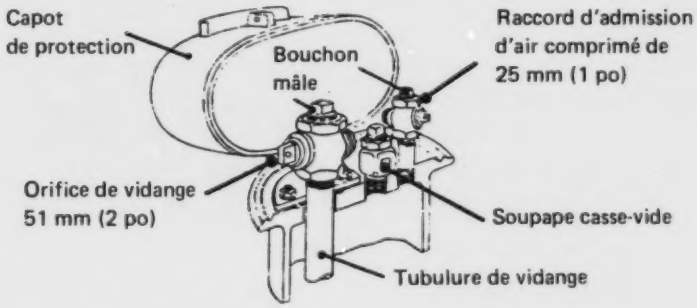
Le produit solide sous forme de sphérules ou de granules est transporté soit en vrac dans des wagons-trémies couverts, soit en colis (sacs) dans des wagons couverts ordinaires. Les wagons-trémies sont déchargés par l'action de la pesanteur ou par procédé pneumatique. Leur capacité varie de 45 à 90 tonnes (PC, 1982). Des wagons-trémies types sont illustrés à la figure 6 et décrits au tableau 4. Des wagons à trémies «cylindriques» aux spécifications semblables à celles des wagons-trémies types sont souvent utilisés.

Figure 5

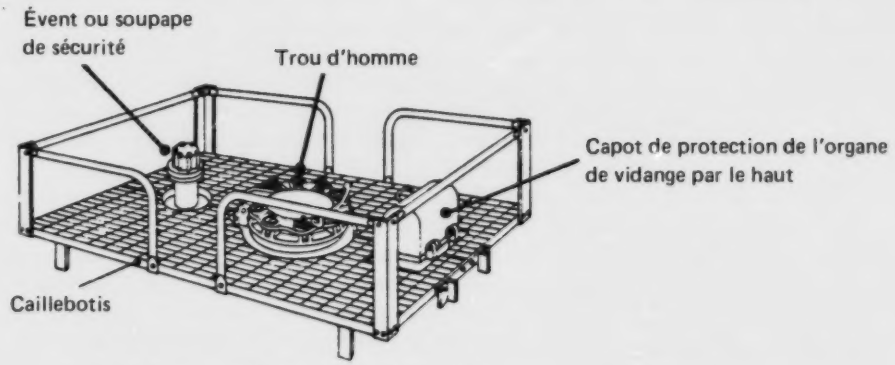
URÉE

WAGON-CITERNE DE SPÉCIFICATION 111A60W1

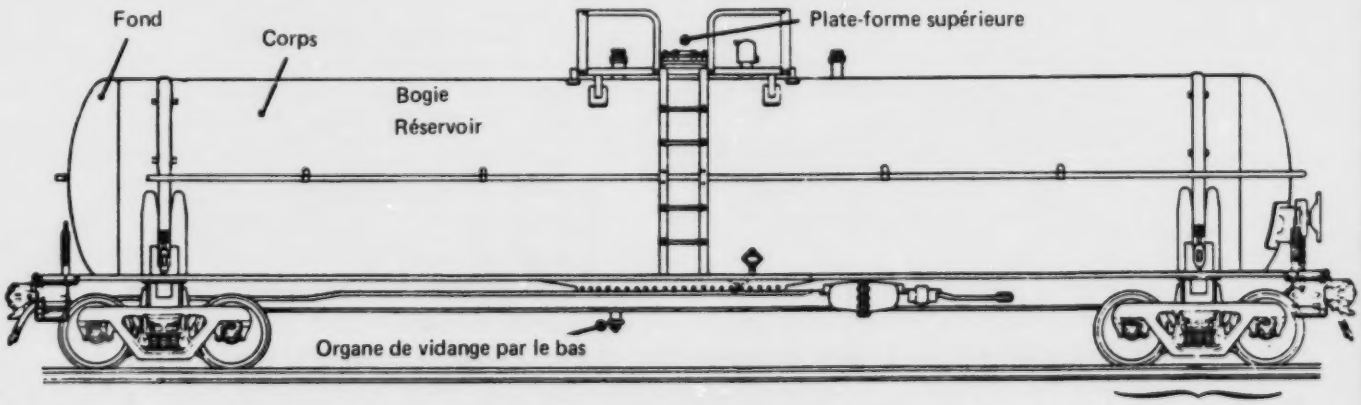
(Sources: TCM, 1979; RTDCR, 1974)



Détail de l'organe de vidange par le haut



Détail de la plate-forme supérieure



Principaux éléments du wagon-citerne

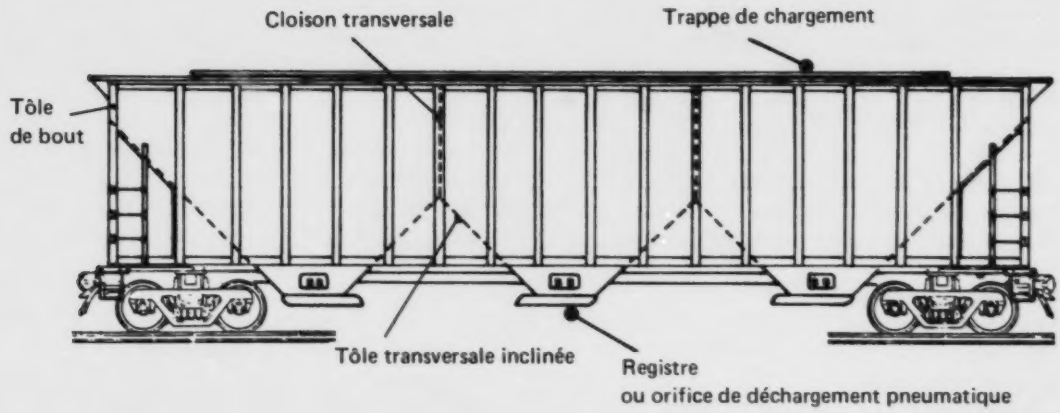
Tableau 3
Caractéristiques du wagon-citerne de spécification 111A60ALW1
(TCM, 1979; RTDCR, 1974)

Description	Capacité nominale de la citerne (gal imp.)		
	16 700	17 200	20 000
Structure			
Capacité nominale	75 700 l (16 700 gal)	78 000 l (17 200 gal)	90 900 l (20 000 gal)
Tare (poids à vide)	33 900 kg (74 700 lb)	33 900 kg (74 700 lb)	38 900 kg (85 800 lb)
Masse brute maximale	119 000 kg (263 000 lb)	83 500 kg (184 000 lb)	119 000 kg (263 000 lb)
Réservoir			
Matériau	Acier	Acier	Acier
Épaisseur	11,1 mm (7/16 po)	11,1 mm (7/16 po)	11,1 mm (7/16 po)
Diamètre intérieur	2,60 m (102 po)	2,62 m (103 po)	2,74 m (108 po)
Pression d'épreuve	414 kPa (60 psi)	414 kPa (60 psi)	414 kPa (60 psi)
Pression d'éclatement	1640 kPa (240 psi)	1640 kPa (240 psi)	1640 kPa (240 psi)
Dimensions approximatives			
Longueur avec organes d'attelage	17 m (57 pi)	17 m (57 pi)	18 m (60 pi)
Longueur avec pylônes de choc	16 m (53 pi)	16 m (53 pi)	17 m (57 pi)
Longueur entre pivots de bogie	13 m (42 pi)	13 m (42 pi)	14 m (45 pi)
Hauteur au sommet du caillebotis	4 m (12 pi)	4 m (12 pi)	4 m (12 pi)
Hauteur hors-tout	5 m (15 pi)	5 m (15 pi)	5 m (15 pi)
Largeur hors-tout (avec poignées)	3,2 m (127 po)	3,2 m (127 po)	3,2 m (127 po)
Longueur du caillebotis	2-3 m (8-10 pi)	2-3 m (8-10 pi)	2-3 m (8-10 pi)
Largeur du caillebotis	1,5-2 m (5-6 pi)	1,5-2 m (5-6 pi)	1,5-2 m (5-6 pi)
Déchargement par le haut			
Raccord de déchargement	51 mm (2 po)	51 mm (2 po)	51 mm (2 po)
Orifice de remplissage/ trou d'homme	203-356 mm (8-14 po)	203-356 mm (8-14 po)	203-356 mm (8-14 po)
Raccord d'arrivée d'air	25-51 mm (1-2 po)	25-51 mm (1-2 po)	25-51 mm (1-2 po)
Déchargement par le bas			
Orifice de déchargement par le bas	102-152 mm (4-6 po)	102-152 mm (4-6 po)	102-152 mm (4-6 po)
Dispositifs de sécurité	Évent ou soupape de sécurité		
Dôme	Aucun		
Isolation	Facultative		

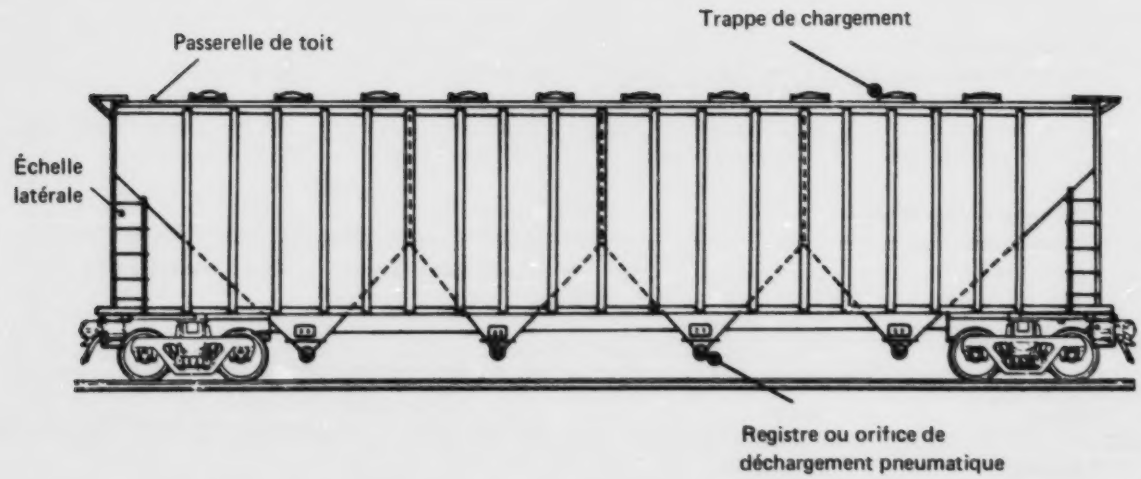
Figure 6

URÉE — **WAGONS-TRÉMIES COUVERTS, CLASSE LO DE L'ARR**

Sources: CLC, 1974; AAR, 1983



Wagon couvert à 3 trémies



Wagon couvert à 4 trémies

Tableau 4
Caractéristiques du wagon-trémie couvert de classe LO (AAR) utilisé pour l'urée (CLC, 1974)

Description	Wagon-trémie de 5800 pi^3	Wagon-trémie de 4700 pi^3
Structure		
Capacité nominale	164 m^3 (5800 pi^3)	133 m^3 (4700 pi^3)
Charge nominale	86 000 kg (196 000 lb)	86 000 kg (196 000 lb)
Tare	45 000 kg (100 000 lb)	45 000 kg (100 000 lb)
Masse brute maximale	119 000 kg (263 000 lb)	119 000 kg (263 000 lb)
Trémies		
Nombre	4	3
Matériau	Acier	Acier
Longueur intérieure	410 cm (160 po)	460 cm (180 po)
Largeur intérieure	300 cm (118 po)	300 cm (118 po)
Distance entre les dispositifs de déchargement	4 m (12 pi)	5 m (15 pi)
Angle d'inclinaison	40-45°	40-45°
Dimensions approximatives		
Longueur avec organes d'attelage	21 m (69 pi)	18 m (60 pi)
Longueur avec pylônes de choc	20 m (66 pi)	17 m (57 pi)
Distance entre pivots de bogie	16 m (53 pi)	14 m (45 pi)
Hauteurs hors-tout	5 m (15 pi)	5 m (15 pi)
Hauteur de la passerelle de toit jusqu'au sommet	5 m (15 pi)	4 m (12 pi)
Largeur hors-tout	3,1 m (10 pi)	3,2 m (10,5 pi)
Longueur intérieure	19 m (62 pi)	17 m (57 pi)
Dispositifs de chargement et de déchargement		
Trappes de chargement:	Les wagons-trémies couverts sont généralement équipés de 4 à 12 trappes de chargement rondes ou carrées de 36 à 61 cm (14-24 po) de diamètre ou de côté.	
Organes de déchargement:	Le déchargement se fait par le bas au moyen de registres carrés dont les côtés ont une longueur de 36 à 61 cm (14-24 po) ou d'orifices de déchargement pneumatique de 10 à 20 cm (4-8 po) de diamètre.	

4.1.1.2 Véchicules-citernes routiers. – L'urée solide sous forme de sphérules ou de granules est transportée en vrac dans des camions à benne ou dans des camions à chargement pneumatique de 18 à 45 tonnes de capacité. Pour l'urée en sacs, on utilise des camions à plate-forme (PC, 1982).

Le transport des solutions d'urée ne fait pas l'objet d'une réglementation particulière, mais on utilise généralement des camions de type MC311 et MC312. Ces deux catégories sont régies par les spécifications TC312 de Transports Canada. Ces spécifications exigent que les citernes déchargées sous une pression supérieure à 104 kPa (15 lb/po^2) soient conçues et construites conformément au code de l'ASME (TDGC, 1980). Les capacités des véhicules-citernes routiers transportant de l'urée varient de 18 à 32 tonnes. Les citernes d'acier inoxydable isolées transportent habituellement des solutions contenant 50 à 80 p. 100 d'urée (PC, 1982).

4.1.2 Transport en colis. – En plus d'être transportée en vrac, l'urée en sphrérules ou en granules est transportée dans des fûts, dans des sacs de papier ou dans des sacs de plastique (PC, 1982).

4.2 Déchargement

4.2.1 Équipement et opérations de déchargement des wagons-citernes. – Il existe deux types de déchargement des wagons-citernes transportant des solutions d'urée: le déchargement par le haut et le déchargement par le bas.

Le déchargement par le haut doit être effectué comme il est indiqué ci-dessous (PC, 1982).

- Après avoir soulevé le capot de protection de l'organe de déchargement situé sur le dessus du wagon, raccorder la canalisation de transvasement de 51 mm (2 po);
- Décharger la citerne par pompage.

Pour le déchargement par le bas, suivre les étapes suivantes:

- Raccorder la canalisation de transvasement à un orifice de 152 mm (6 po) situé en bas et ouvrir le robinet interne du bas en tournant le volant situé sur le dessus du wagon;
- Décharger par écoulement gravité ou par pompage.

Avant le déchargement de l'urée en granules ou en sphérules, on ajoute souvent certains produits chimiques comme l'urée-formaldéhyde pour minimiser la formation de poussière (Sherritt MSDS, 1978).

4.2.2 Spécifications et matériaux de fabrication de l'équipement de déchargement. – Des canalisations mécaniques en acier au carbone de la nomenclature 40, entièrement recuit, fabriquées conformément à la spécification A53 de l'ASTM et chemisées de chlorure de polyvinylidène (Saran) sont recommandées pour les solutions d'urée aux températures moyennes (DPLP, 1972). Des conduites et des raccords en acier au carbone ordinaire peuvent être utilisés aux températures normales (PC, 1982). Il faut utiliser des joints à brides en matériau compatible. La conduite de transvasement est habituellement une canalisation de 51 mm (2 po), qui s'adapte aux raccords normalisés de déchargement des wagons.

On peut utiliser des joints de dilatation flexibles de type à soufflet pour les tronçons souples de la canalisation de transvasement. Ils sont équipés de brides en fer ductile ASA avec des organes expansibles moulés en résine de tétrafluoroéthylène (Dow PPS, 1972).

Les robinets à membrane en fonte ou en acier coulé chemisés de résines de polyéther chlorés ou de chlorure de polyvinylidène sont adéquats (DPLV, 1972). La résine de polyéthylène chlorosulfonée peut être utilisée pour les joints d'étanchéité (DPLP, 1972).

Une pompe centrifuge entièrement en fer, à accouplement serré, peut être utilisée. On recommande l'acier inoxydable ou le Monel (Cyanamid MSDS, 1978).

Pour la manutention de l'urée en granules ou en sphérules, on utilise le matériel ordinaire de manutention des produits solides (Sherritt MSDS, 1978).

4.3 Compatibilité entre le produit et certains matériaux de fabrication

La compatibilité des solutions d'urée avec divers matériaux est indiquée au tableau 5. Le système d'évaluation est brièvement décrit ci-dessous.

Recommandé: Le matériau donnera un rendement satisfaisant pour l'utilisation indiquée.

Avec réserves: Le matériau montrera des signes de détérioration pour l'utilisation indiquée; peut convenir pour utilisation intermittente ou de courte durée.

Déconseillé: L'utilisation indiquée causera une grave détérioration du matériau; l'emploi du matériau est donc déconseillé.

Tableau 5
Compatibilité entre l'urée et certains matériaux de fabrication

Utilisation	Teneur	Temp. (°C)	Recommandé	Réserves	Déconseillé
1. Conduites et raccords	La plupart	23	Polyéthylène* (DPPED, 1967)		
		52	PVDC (DCRG, 1978)		
		60	PVC I		
			PVC II (DPPED, 1967)		
		93	Polypropylène		
		121	PVDF		
			Polyéther chloré (DCRG, 1978)		
		Jusqu'à la limite d'utilisation	PVC I (MWPP, 1978)		
	Produit solide	La plupart	Acier au carbone (Cyanamid MSDS, 1976)		ABS Polyéthylène (MWPP, 1978)
2. Robinetterie	La plupart	23	Polyéther chloré PVDC Aciers inox 316 et 317 (Cyanamid MSDS, 1976)		
3. Pompes	La plupart	La plupart	Fer Acier inox (Cyanamid MSDS, 1976)		
4. Réservoirs de stockage	La plupart	La plupart	Acier au carbone Acier inox (PC, 1982)		
5. Autres	Jusqu'à 10 à 30 %	60	Polyéthylène, polypropylène, polyoxyméthylène, caoutchouc naturel Caoutchouc d'isobutylène-isoprène Caoutchouc d'acrylonitrile-butadiène Caoutchouc d'éthylène propylène Caoutchouc de polychloroprène Caoutchouc fluoré	Chlorure de polyvinyle non plastifié (GF)	

Tableau 5 (suite)

Utilisation	Teneur	Temp. (°C)	Recommandé	Réserves	Déconseillé
			Polyéthylène chlorosulfoné (GF)		
		60	PVC (TPS, 1978)		
		82	Polypropylène (TPS, 1978)		
		85	CPVC (TPS, 1978)		
		121	PVDF (TPS, 1978)		
			Caoutchouc de styrène-butadiène (GPP)		
	10 à 50 %	24 à 100	Verre (CDS, 1967)		

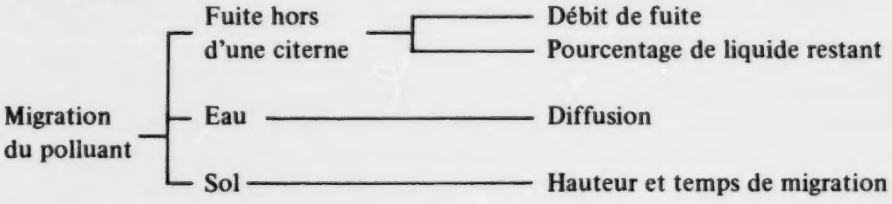
* Matériau ayant reçu une cote inférieure, pour une utilisation similaire, dans un autre ouvrage de référence.

5 FUITE ET MIGRATION DU PRODUIT

5.1 Aperçu général

L'urée est transportée sous forme de granules ou de sphérules dans des wagons-trémies couverts, ou sous forme de solutions aqueuses dans des citernes. Déversées dans l'eau, toutes les formes se dissolvent rapidement. Répandues sur le sol, les solutions s'étalent à la surface et pénètrent dans le sol à une vitesse qui varie selon le type de sol et la teneur en eau de ce dernier. La migration de l'urée vers la nappe phréatique constitue une menace pour l'environnement. En revanche, comme l'urée est à toutes fins utiles non volatile, le danger de migration dans l'air ne pose aucun problème.

Voici les facteurs à prendre en considération lorsqu'il y a migration du polluant dans l'eau ou dans le sol.



À cause du caractère approximatif des calculs dans le domaine de la migration des polluants, la méthode adoptée consiste à utiliser des estimations prudentes des paramètres critiques dans le but d'établir des prévisions qui reflètent le plus fidèlement possible les pires scénarios. En suivant cette méthode, il se peut que l'on doive poser des hypothèses différentes pour chaque milieu. Cette méthode permet donc de comparer le comportement de différents produits chimiques dans les pires scénarios à partir d'hypothèses compatibles avec chaque milieu.

5.2 Fuite du produit

5.2.1 Introduction. – L'urée en solution aqueuse est transportée couramment par wagon-citerne. La capacité des citernes peut varier énormément, mais nous n'en avons retenu qu'une pour établir les nomogrammes de fuite de la présente collection. Il s'agit d'une citerne qui mesure environ 2,75 m de diamètre, 13,4 m de longueur et qui peut contenir environ 80 000 litres.

S'il y a perforation, au-dessous du niveau du liquide, de la paroi de la citerne remplie d'une solution aqueuse diluée, tout le liquide s'écoulera sous l'action de la pesanteur. Les solutions d'urée à teneur élevée sont très visqueuses et même solides aux températures normales et ne s'écouleront pas sous l'action de la pesanteur à moins qu'elles ne soient exposées à une température très chaude.

Grâce aux nomogrammes, on pourra calculer facilement la quantité de liquide restant dans la citerne ainsi que le débit de fuite du liquide, à mesure que le temps s'écoulera. Comme les citernes ne sont pas sous pression et comme le produit est peu volatil, aucun nomogramme n'a été élaboré pour la fuite de vapeurs par un orifice qui serait situé au-dessus du niveau du liquide.

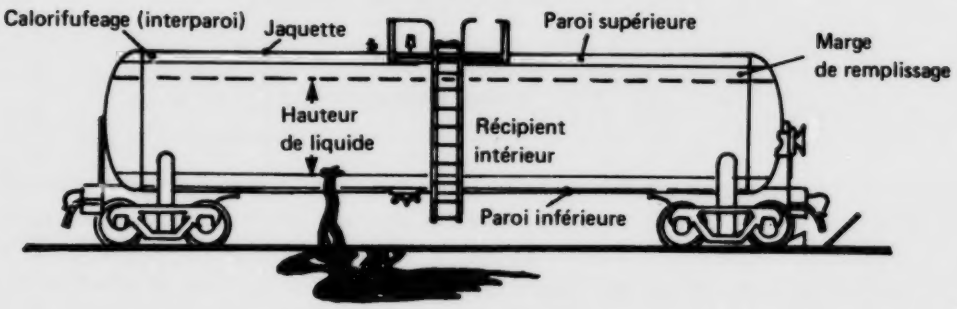


Figure 7 ORIFICE AU-DESSOUS DU NIVEAU DU LIQUIDE

5.2.2 Nomogrammes des fuites

5.2.2.1 Pourcentage de liquide restant en fonction du temps écoulé. – La figure 8 permet d'évaluer le pourcentage de liquide restant dans un wagon-citerne en fonction du temps écoulé depuis le moment de la perforation et en fonction d'un certain nombre de diamètres de l'orifice. Ces diamètres sont des diamètres équivalents et ils valent pour des orifices de toutes formes.

On suppose que le wagon-citerne type contient 80 000 litres de liquide et qu'il est plein au moment de la perforation. Le volume de liquide restant, après un temps t écoulé donné, n'est pas seulement fonction du débit de fuite, mais aussi de la taille et de la forme du wagon-citerne.

5.2.2.2 Débit de fuite en fonction du temps écoulé. – La figure 9 permet d'évaluer à tout instant le débit de fuite après un temps t écoulé donné, en fonction de diamètres équivalents donnés. Le nomogramme ne vaut que pour un wagon-citerne dont le contenu initial est de 80 000 litres.

5.2.3 Exemples de calcul

PROBLÈME A

Il y a eu perforation d'un wagon-citerne type rempli d'une solution aqueuse contenant 70 p. 100 d'urée. L'orifice est situé dans le bas de la citerne, au-dessous du niveau du liquide. Son diamètre équivalent est de 150 mm. Quel pourcentage du volume initial de 80 000 l représente le volume de liquide restant après 10 minutes? Solution (voir figure 8): si t = 10 mn et D = 150 mm, le volume de liquide restant représente 36 p. 100 (soit 28 800 l) du volume initial.

PROBLÈME B

Les données du problème B étant les mêmes que celles du problème A, quel est le débit instantané de fuite après 10 minutes d'écoulement? Solution (voir figure 9): si t = 10 mn et D = 150 mm, le débit instantané de fuite q = 70 l/s.

5.3 Diffusion dans l'atmosphère

Dans les situations prévisibles, l'urée n'est pas volatil. Son déversement accidentel ne comporte donc aucun danger notable de diffusion dans l'atmosphère.

Figure 8

URÉE (solution contenant 70 p. 100)

POURCENTAGE DE LIQUIDE RESTANT EN FONCTION DU TEMPS ÉCOULÉ

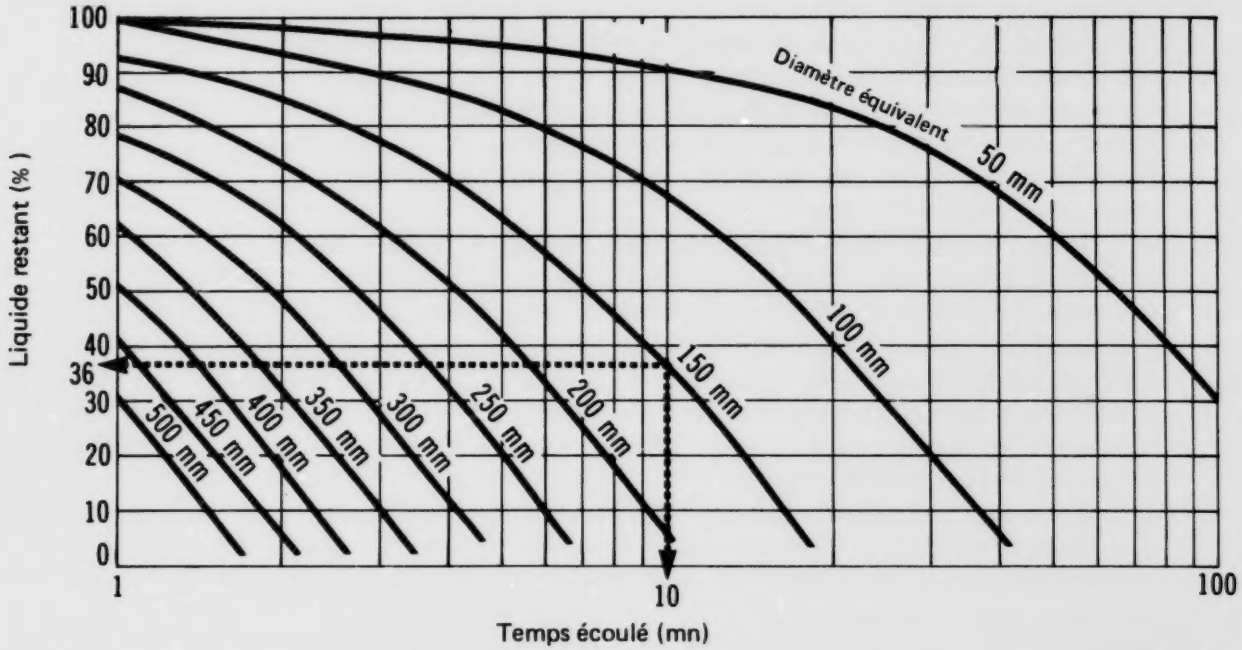
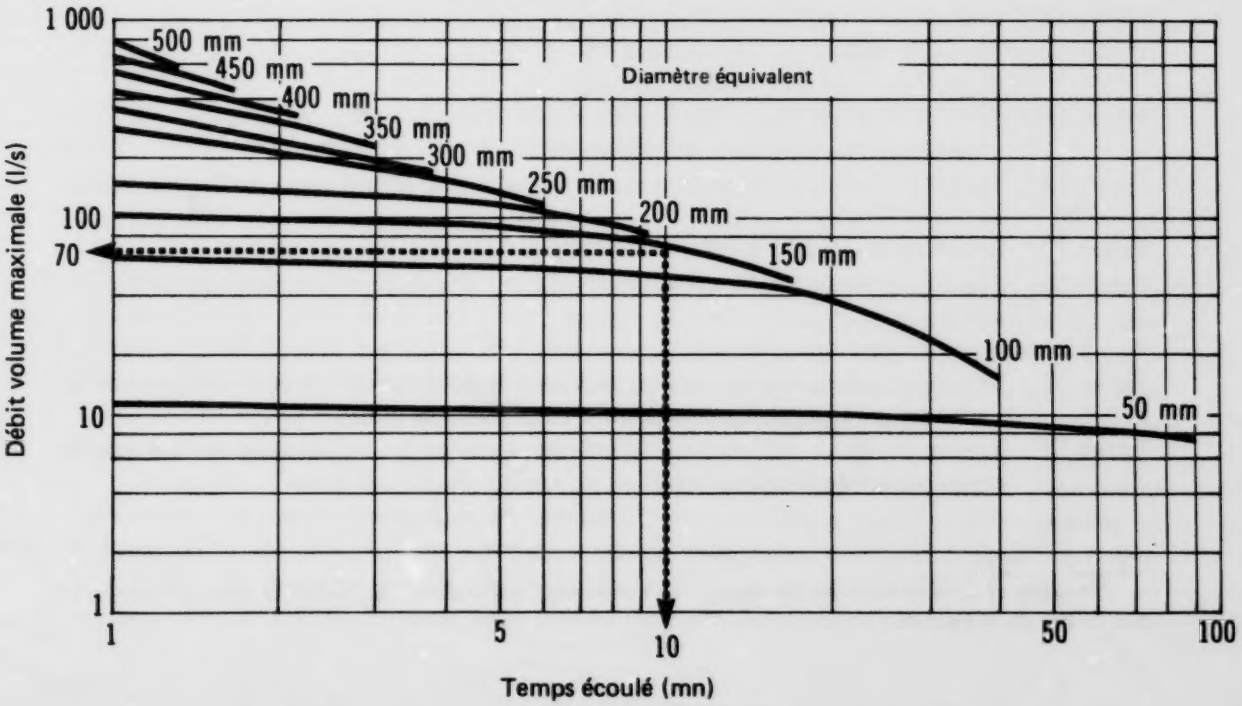


Figure 9

URÉE (solution contenant 70 p. 100)

DÉBIT EN FUITE EN FONCTION DU TEMPS ÉCOULÉ



5.4 Comportement dans l'eau

5.4.1 Introduction. – Déversée à la surface de l'eau, l'urée se dissout rapidement. Il y a mélange et le produit est dilué. En général, le phénomène de mélange peut être décrit par les équations de diffusion classiques, comportant un ou plusieurs coefficients de diffusion. Dans les cours d'eau, le mélange est surtout le résultat d'un écoulement turbulent; alors que dans un plan d'eau (étendue d'eau calme) il s'effectue par diffusion moléculaire.

Pour évaluer la teneur en polluant de l'eau d'un cours d'eau en aval du lieu de déversement, les auteurs ont utilisé un modèle de diffusion turbulente. Ce modèle s'applique aux liquides miscibles à l'eau, de densité équivalente à celle de l'eau, et aux solides qui se dissolvent dans l'eau. Il vaut donc pour l'urée.

Le modèle utilisé est unidimensionnel; il établit un canal rectangulaire théorique et suppose une teneur uniforme en polluant dans toute section donnée de l'écoulement (section mouillée). En pratique, une telle uniformité n'est possible qu'en des points situés assez loin en aval du lieu du déversement, là où les mécanismes de mélange et de dilution ont joué suffisamment pour produire une répartition égale du polluant à travers le canal. Le modèle s'applique aux cours d'eau dont le rapport largeur/profondeur est inférieur à 100. Il postule également un coefficient de rugosité de Manning de 0,03. (Pour plus de détails au sujet de ce modèle, voir le *Manuel d'introduction Enviroguide*.)

En ce qui a trait à la diffusion moléculaire dans un plan d'eau, aucun modèle n'a été élaboré. Les auteurs ont établi des nomogrammes permettant de délimiter la zone dangereuse et de calculer la teneur moyenne dans cette zone en fonction de la masse de liquide déversé, indépendamment du temps écoulé.

5.4.2 Nomogrammes de la diffusion du polluant dans l'eau. – Le lecteur trouvera ci-dessous la liste des nomogrammes servant à déterminer les teneurs en polluant de l'eau dans les cours d'eau non soumis aux marées et dans les lacs au repos ou autres plans d'eau.

A. – Cours d'eau non soumis aux marées

Figure 11 Distance en fonction du temps (pour une plage de vitesses moyennes d'écoulement)

Figure 12 Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal (pour une plage de profondeurs du canal [hauteurs d'eau])

Figure 13 Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique (pour une plage de vitesses moyennes d'écoulement)

Figure 14 Alpha* en fonction du coefficient de diffusion turbulente (pour différentes valeurs de temps écoulé)

Figure 15 Delta* en fonction d'alpha (pour différentes masses de liquide déversé)

Figure 16 Teneur maximale en fonction de delta (pour des sections mouillées de différentes surfaces)

B. – Lacs au repos et autres plans d'eau

Figure 17 Volume d'eau en fonction du rayon hydraulique de la zone dangereuse (pour différentes profondeurs du lac, c.-à-d. différentes hauteurs d'eau)

Figure 18 Teneur moyenne en fonction du volume d'eau de la zone dangereuse (pour différentes masses de liquide déversé)

---

* Alpha et delta ne sont que des facteurs de conversion: leur utilité est de faciliter le calcul des teneurs en aval du lieu du déversement.

La figure 10 présente les étapes à suivre pour évaluer la teneur en polluant en un point situé en aval du lieu du déversement et indique les nomogrammes à utiliser; ces derniers sont expliqués dans les paragraphes qui suivent.

5.4.2.1 Diffusion dans les cours d'eau non soumis aux marées

Figure 11 Distance en fonction du temps. – Le graphique montre les relations entre la vitesse moyenne de l'écoulement, le temps écoulé et la distance parcourue. Pour une vitesse moyenne de l'écoulement V donnée, le temps *t* que met le polluant pour atteindre un point situé à une distance x donnée en aval du lieu du déversement peut être obtenu rapidement à l'aide de ce graphique.

Figure 12 Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal. – Le modèle choisi pour évaluer la teneur en polluant en aval du lieu du déversement comporte un canal rectangulaire théorique de largeur L, ayant une hauteur d'eau h. Le rayon hydraulique r doit être connu pour calculer le coefficient de diffusion turbulente E. Le rayon hydraulique lui-même correspond au rapport de la surface de la section s mouillée (ou section de l'écoulement) au périmètre mouillé B. La figure 12 permet de déterminer le rayon hydraulique d'un canal à partir de la largeur de ce dernier et de la hauteur d'eau.

Figure 13 Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique. – Les données connues sur le rayon hydraulique r et sur la vitesse moyenne d'écoulement V permettent de déterminer le coefficient de diffusion turbulente E.

Figure 14 Alpha en fonction du coefficient de diffusion turbulente. – Le nomogramme permet d'obtenir le facteur de conversion α; ce dernier est fonction du coefficient de diffusion turbulente E et du temps *t* requis pour atteindre un point situé en aval du lieu du déversement.

Figure 15 Delta en fonction d'alpha. – Un second facteur de conversion, delta Δ, est requis pour évaluer la teneur en polluant en un point donné. Delta est fonction d'alpha et de la masse de liquide déversé.

Figure 16 Teneur maximale en fonction de delta. – Il s'agit de la dernière étape dans la détermination de la teneur maximale en polluant en un point situé en aval du lieu du déversement. En se servant du facteur delta et connaissant la surface de la section mouillée s, le lecteur trouve rapidement la teneur. La valeur obtenue vaut pour les liquides miscibles à l'eau, de densité équivalente à celle de l'eau, et pour les solides solubles dans l'eau; elle variera quelque peu dans le cas de polluants dont la densité relative est supérieure ou inférieure à celle de l'eau.

5.4.2.2 Diffusion dans les lacs au repos et autres plans d'eau

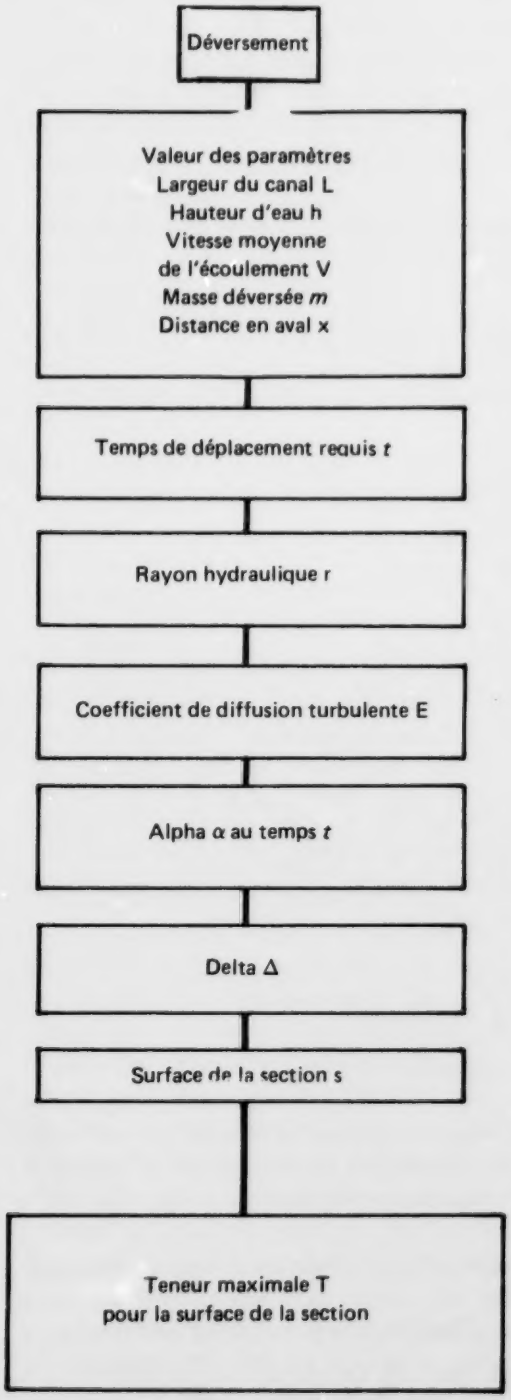
Figure 17 Volume d'eau en fonction du rayon. – L'étendue d'eau calme (ni vent, ni courant) touchée par le déversement d'un liquide miscible à l'eau, de densité équivalente à celle de l'eau, est représentée par un cylindre théorique de rayon r et de «longueur» égale à la hauteur d'eau h à l'endroit où le déversement se produit. Le volume d'eau peut être obtenu à l'aide de la figure 17. Le rayon r équivaut à la distance x entre le lieu du déversement et le point où la teneur est mesurée.

Figure 18 Teneur moyenne en fonction du volume d'eau. – Pour un volume d'eau connu du cylindre théorique, le nomogramme permet d'établir une teneur moyenne en polluant selon la masse de liquide déversé. Il est pris pour acquis que la diffusion du polluant est uniforme dans le cylindre. En pratique, dans le cas de substances dont la densité relative est supérieure ou inférieure à celle de l'eau, la teneur réelle près du fond sera plus forte ou plus faible.

Figure 10

URÉE

ÉTAPES À SUIVRE POUR CALCULER LA TENEUR EN POLLUANT D'UN COURS D'EAU NON SOUMIS AUX MARÉES



Étape 1

Par observation ou évaluation

L = _____ m
h = _____ m
V = _____ m/s
m = _____ tonnes
x = _____ m

Étape 2 t = _____ mn (fig. 11)

Étape 3 r = _____ m (fig. 12)

Étape 4 E = _____ m^2/s (fig. 13)

Étape 5 α = _____ (fig. 14)

Étape 6 Δ = _____ (fig. 15)

Étape 7 s = L x h = _____ m^2

Étape 8 T = _____ ppm (fig. 16)

Figure 11

URÉE

DISTANCE
EN FONCTION DU TEMPS

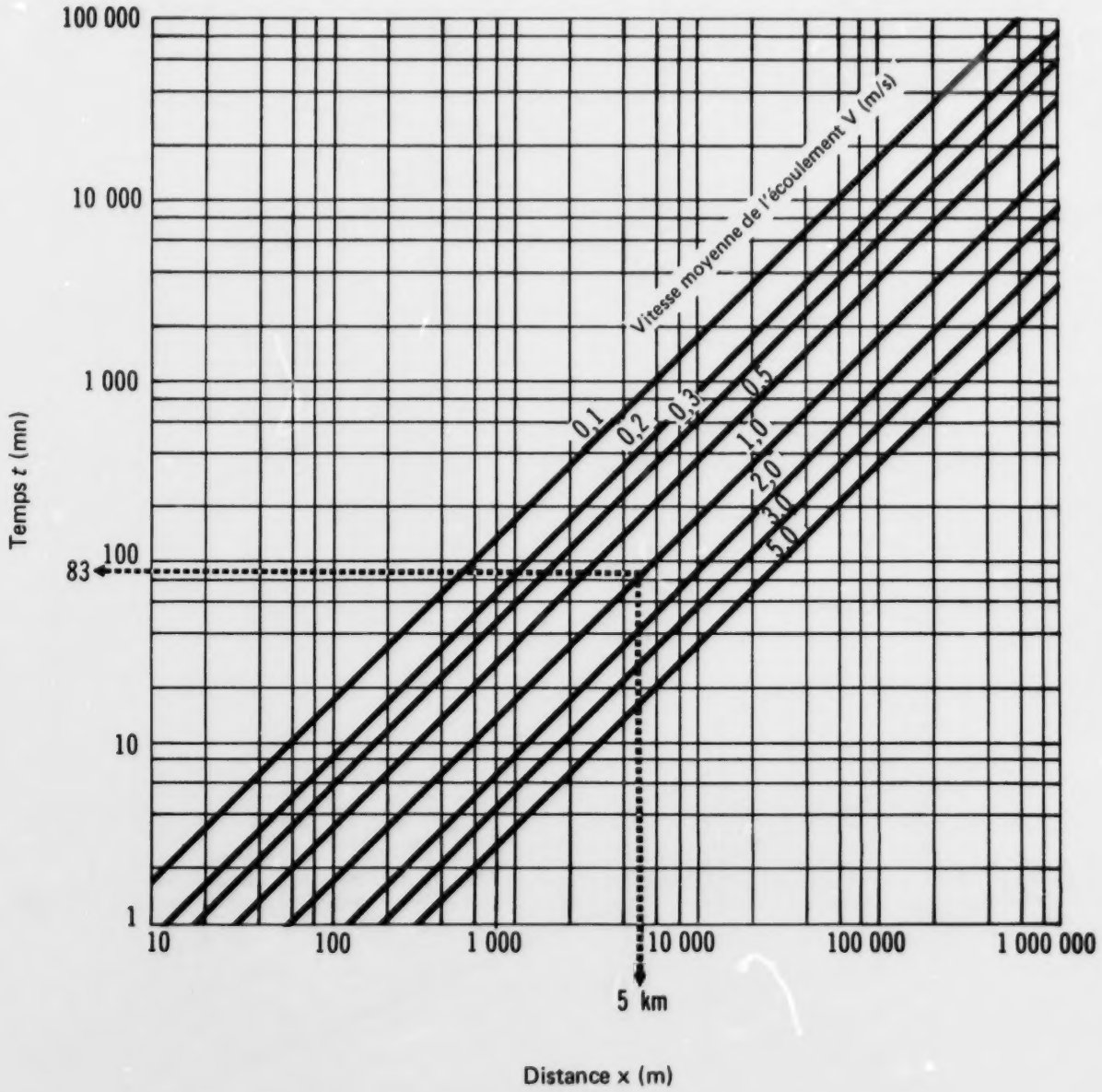


Figure 12

URÉE

RAYON HYDRAULIQUE EN FONCTION DE LA LARGEUR DU CANAL

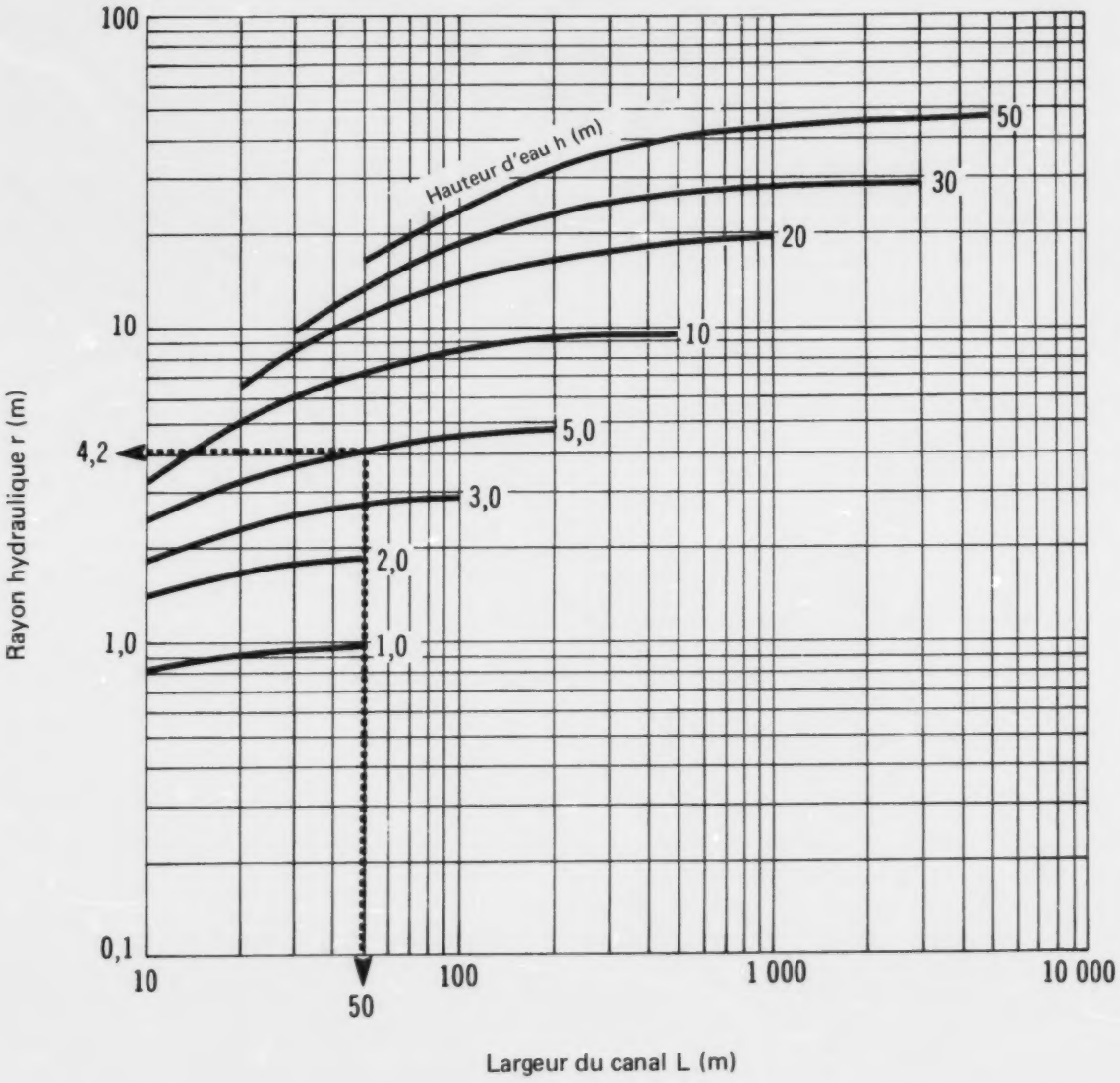


Figure 13

URÉE

COEFFICIENT DE DIFFUSION TURBULENTE
EN FONCTION DU RAYON HYDRAULIQUE

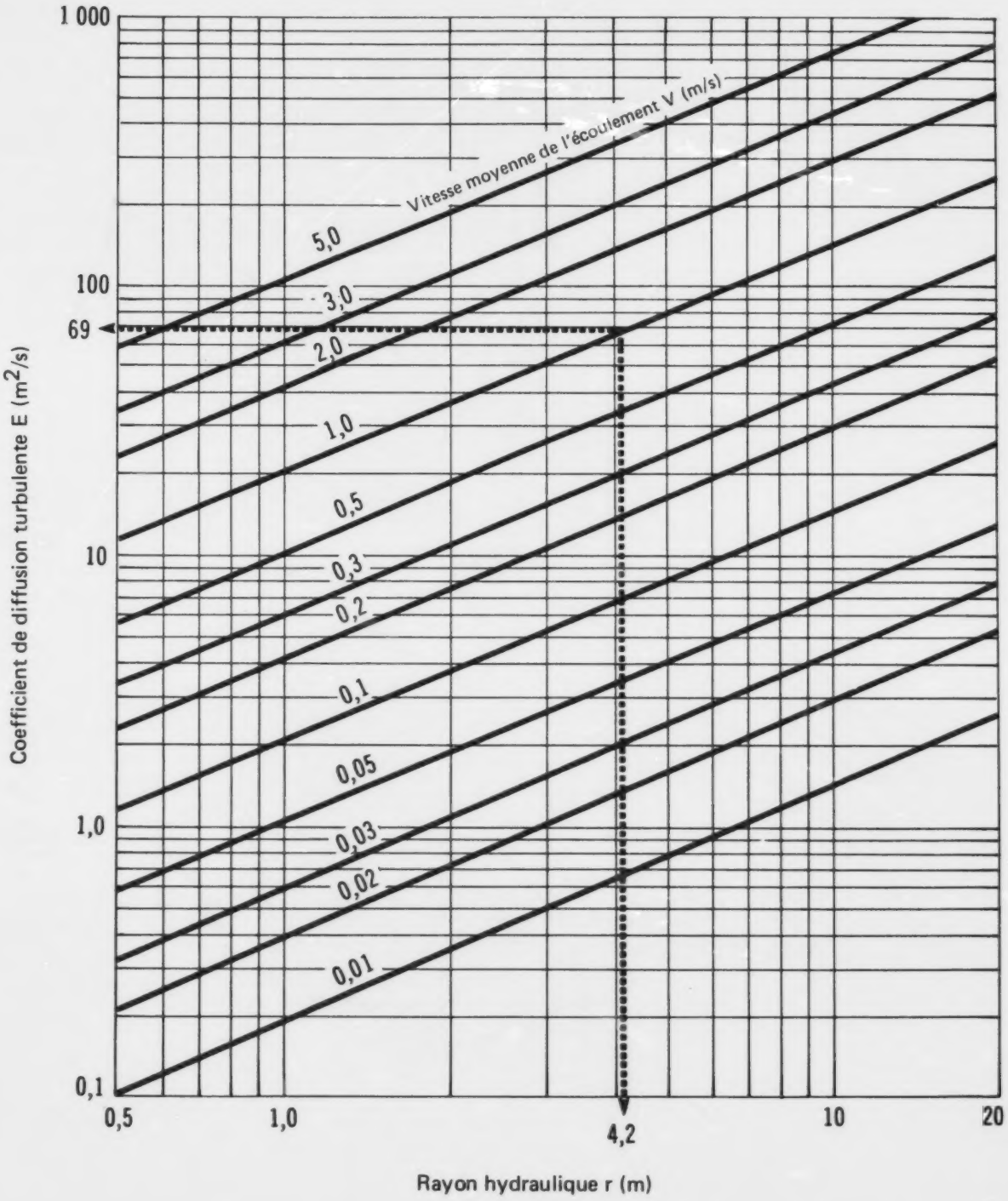


Figure 14

URÉE

ALPHA
EN FONCTION DU COEFFICIENT DE DIFFUSION TURBULENTE

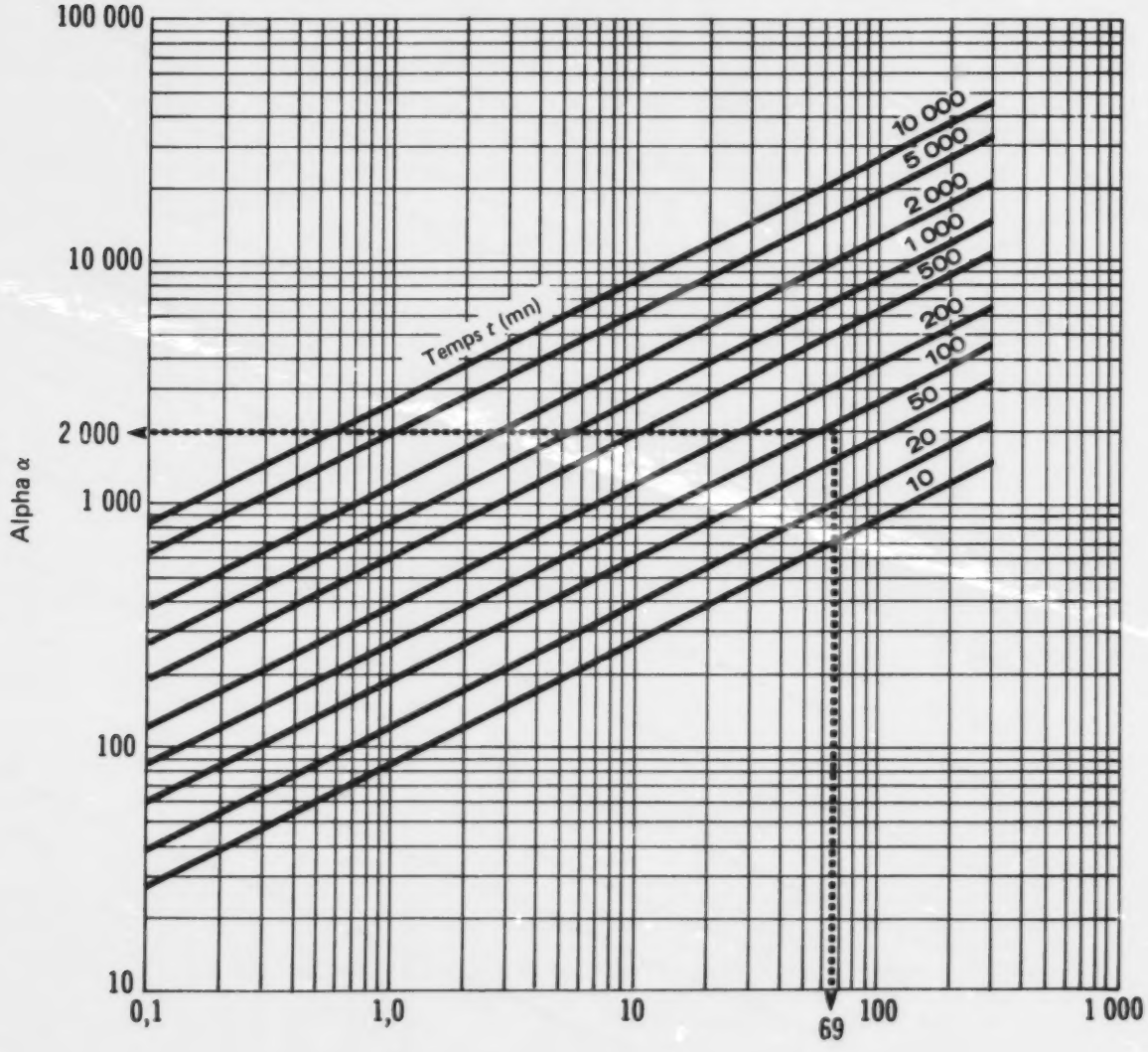


Figure 15

URÉE

DELTA
EN FONCTION D'ALPHA

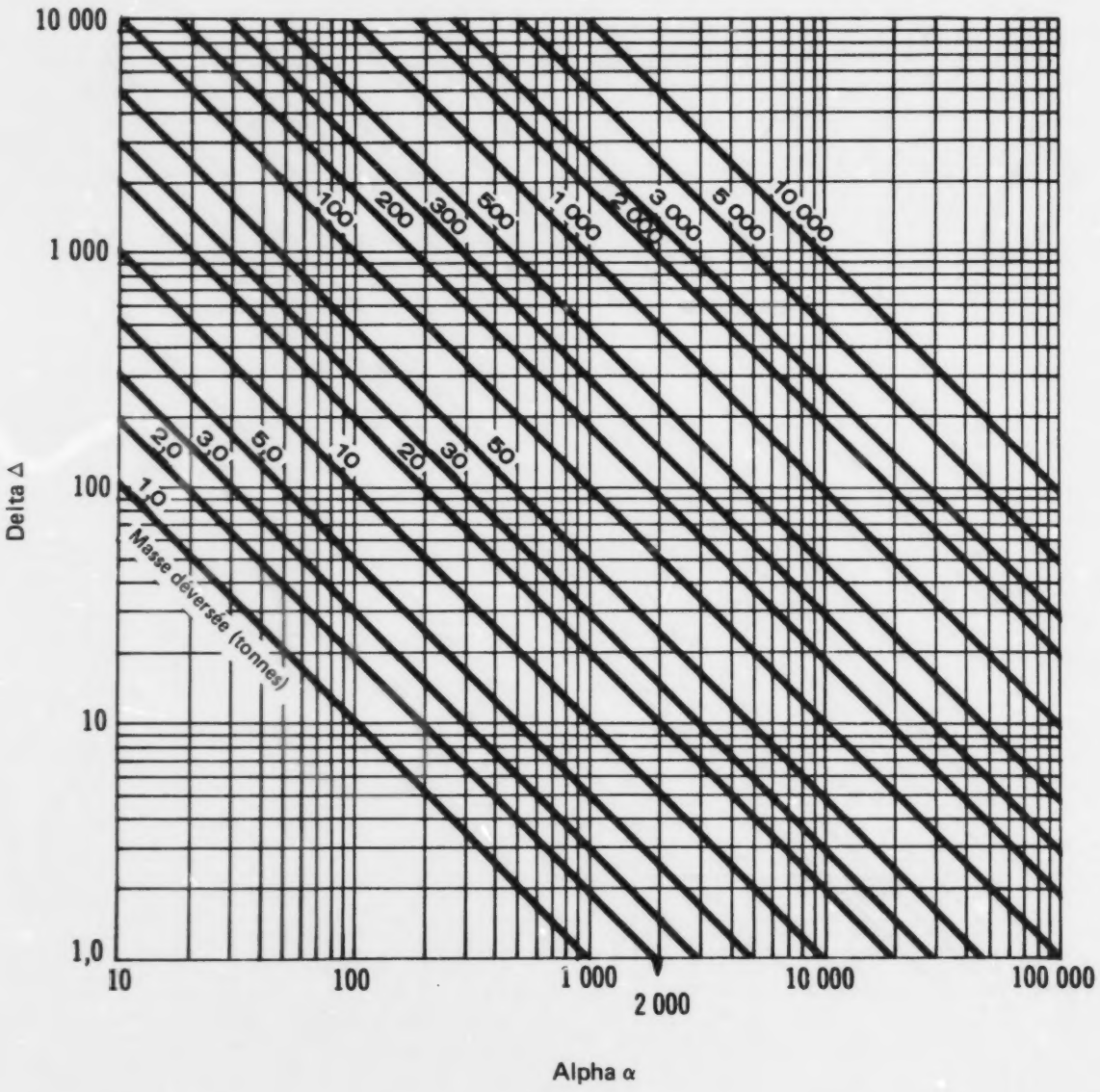


Figure 16

URÉE

TENEUR MAXIMALE EN FONCTION DE DELTA

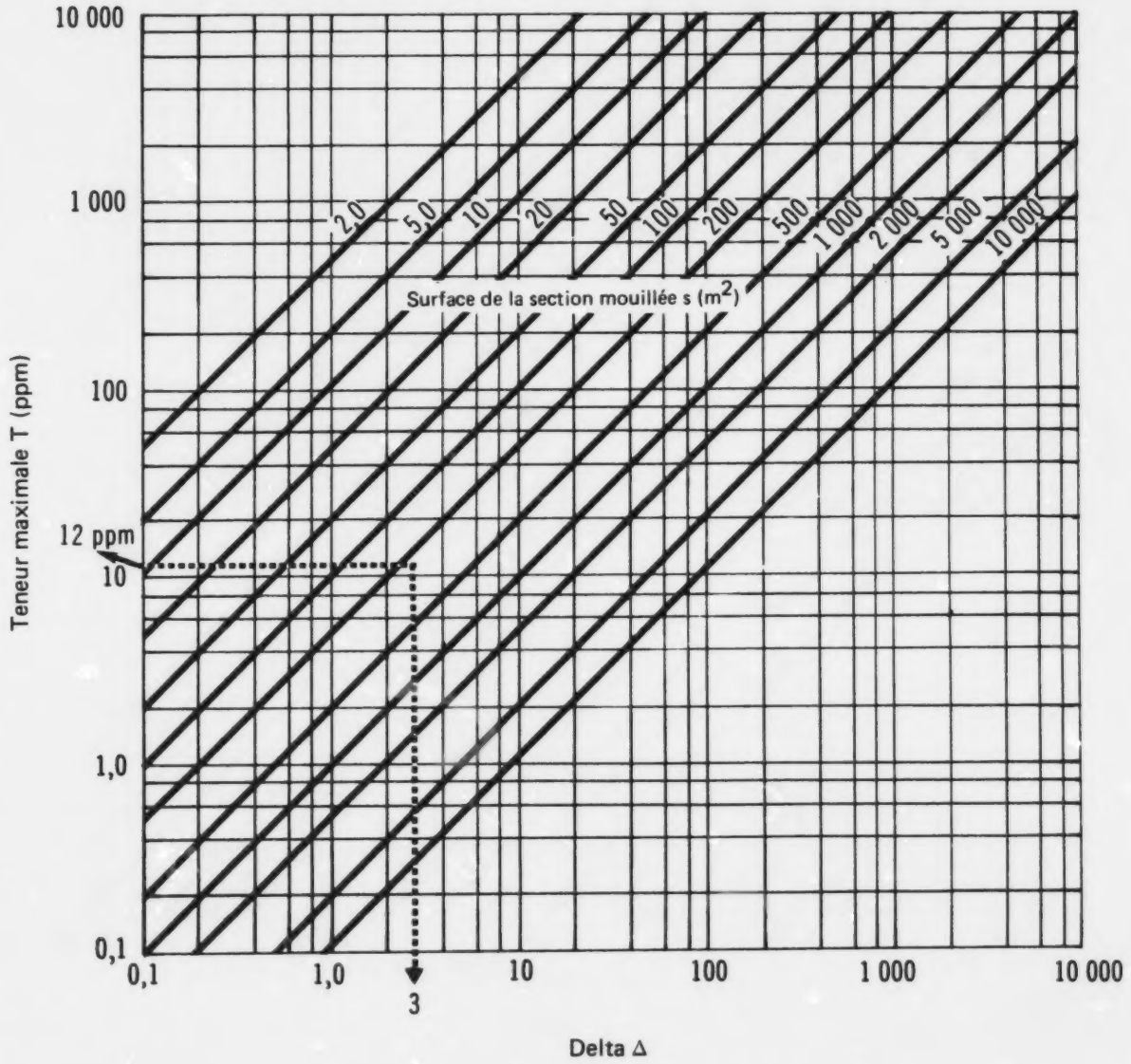


Figure 17

URÉE

VOLUME D'EAU
EN FONCTION DU RAYON HYDRAULIQUE

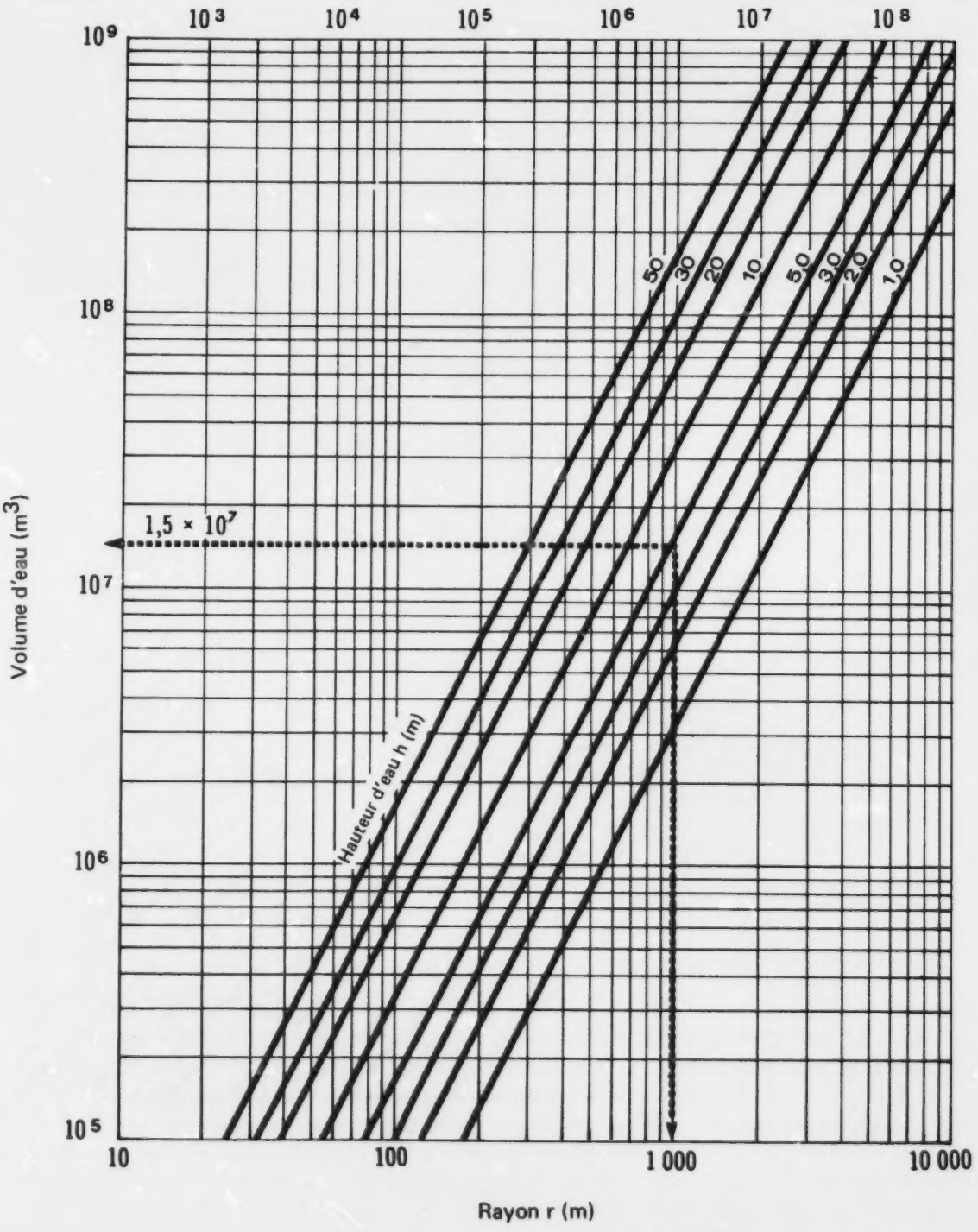
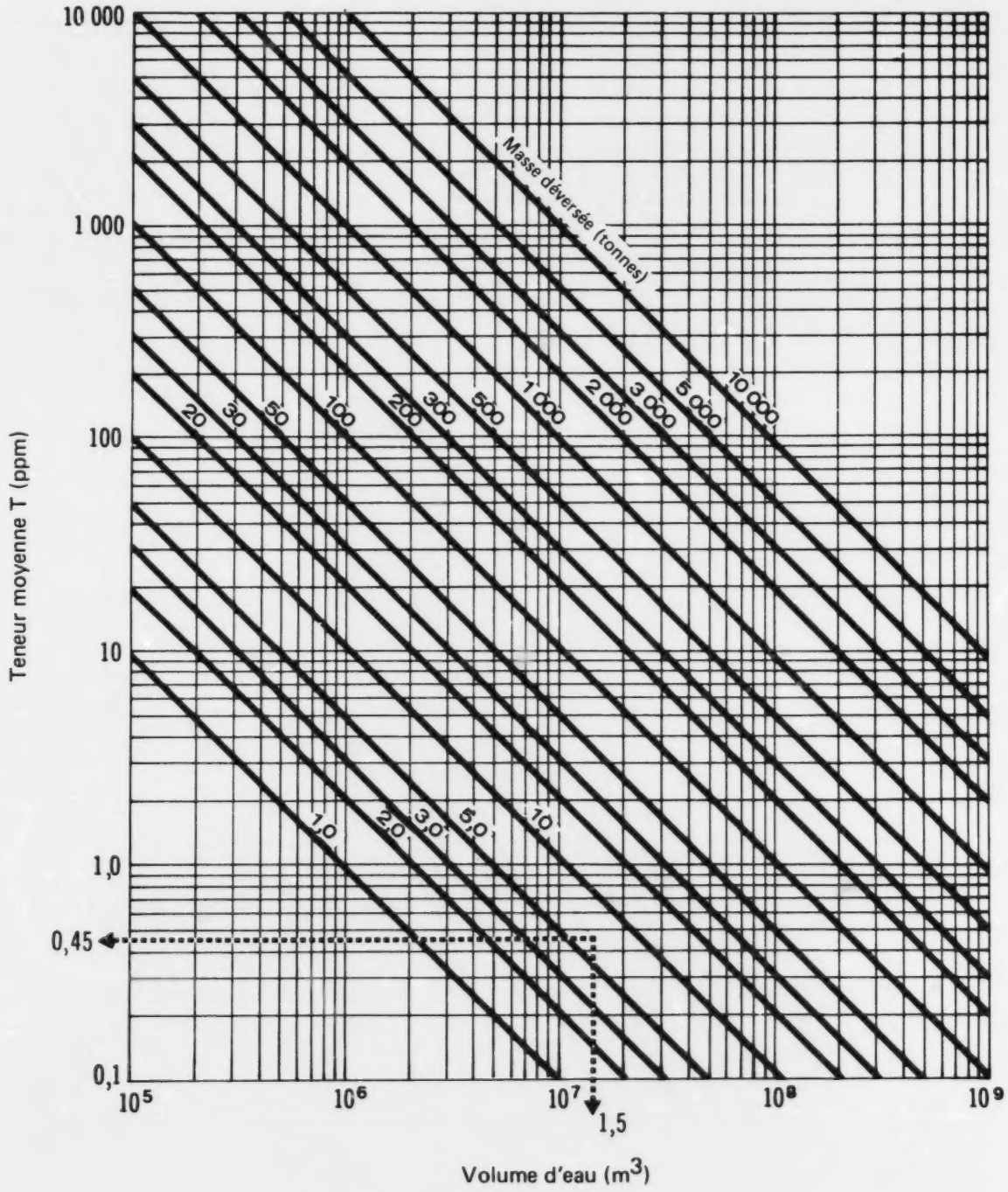


Figure 18

URÉE

TENEUR MOYENNE EN FONCTION DU VOLUME D'EAU



5.4.3 Exemples de calcul

5.4.3.1 Teneur en polluant d'un cours d'eau non soumis aux marées. – Dix tonnes d'une solution d'urée titrant 60 p. 100 ont été déversées dans un cours d'eau. La hauteur d'eau h est de 5 m et la largeur L, de 50 m. La vitesse moyenne de l'écoulement est évaluée à 1 m/s. Quelle est la teneur maximale prévisible en en point situé à 5 km en aval, près d'une prise d'eau?

Étape 1 Déterminer les paramètres.
L = 50 m; h = 5 m; V = 1 m/s; x = 5000 m;
m = 10 tonnes d'une solution titrant 60 p. 100 = 6 tonnes d'urée.

Étape 2 Déterminer le temps requis pour atteindre le point donné.
Comme x = 5000 m et V = 1 m/s, t = 83 mn (fig. 11).

Étape 3 Déterminer le rayon hydraulique.
Comme L = 50 m et h = 5 m, r = 4,2 m (fig. 12).

Étape 4 Déterminer le coefficient de diffusion turbulente.
Comme r = 4,2 m et V = 1 m/s, E = 69 m^2/s (fig. 13).

Étape 5 Déterminer alpha.
Comme E = 69 m^2/s et t = 83 mn, α = 2000 (fig. 14).

Étape 6 Déterminer delta.
Comme α = 2000 et m = 6 tonnes, Δ = 3 (fig. 15).

Étape 7 Calculer la surface de la section mouillée.
s = L x h = 50 x 5 = 250 m^2.

Étape 8 Déterminer la teneur maximale au point donné.
Comme Δ = 3 et s = 250 m^2, T = 12 ppm (fig. 16).

5.4.3.2 Teneur en polluant dans les lacs au repos et autres plans d'eau. – Dix tonnes d'une solution d'urée titrant 60 p. 100 ont été déversées dans un lac. Le point qui nous intéresse se trouve le long de la rive, à environ 1000 m du lieu du déversement. Entre ce lieu et le point donné, la hauteur d'eau moyenne est de 5 m. Quelle est la teneur moyenne prévisible en ce point?

Étape 1 Déterminer les paramètres.
h = 5 m; r = 1000 m; m = 6 tonnes (équivalence).

Étape 2 Déterminer le volume d'eau assurant la diffusion.
Comme r = 1000 m et h = 5 m, vol. = 1,5 x 10^7 m^3 environ (fig. 17).

Étape 3 Déterminer la teneur moyenne.
Comme vol. = 1,5 x 10^7 m^3 et m = 6 tonnes, T = 0,45 ppm (fig. 18).

5.5 Comportement dans le sol de surface et dans le sous-sol

5.5.1 Introduction. – Les lois de la migration des fluides dans le sol, ainsi que leur application dans le cadre de la collection «Enviroguide», sont exposées dans le *Manuel d'introduction Enviroguide*. Les éléments dont il faut tenir compte dans le cas du déversement et de la migration de l'urée sont présentés dans les paragraphes qui suivent.

L'urée est parfois transportée sous forme de solution aqueuse, bien que son transport à l'état solide soit plus répandu. Lorsque de l'urée solide est déversée, il n'existe qu'un faible risque de pollution des eaux souterraines si le sol est sec et s'il ne tombe pas de précipitations avant le nettoyage. En revanche, s'il y a déversement d'une solution, s'il y a pluie avant le nettoyage ou si le sol est saturé en eau, la pollution des eaux souterraines est probable.

Vu la très grande solubilité de l'urée (51,6 g/100 g d'eau à 20 °C), des solutions concentrées peuvent pénétrer dans le sol. Il peut y avoir une certaine interaction entre l'urée et le sol. Cependant, une grande partie des ions déplacés par l'urée s'enfoncera dans le sous-sol.

Si le sol de surface est saturé en eau au moment du déversement, comme ce pourrait être le cas après une pluie, le produit dissous dans les eaux de précipitation ruissellera. Dans la présente section, les auteurs ont attribué au sol une capacité normale d'humidité, dite capacité au champ. Le sol recèle alors très peu d'eau interstitielle susceptible de diluer le produit au cours de sa migration ou de freiner son mouvement descendant; il s'agit du pire cas possible. Au niveau de la nappe phréatique, le chlorate poursuit sa migration, cette fois dans la direction de l'écoulement souterrain. Il se forme une poche de pollution où la diffusion et la dispersion diminuent quelque peu la teneur. C'est ce que montre le schéma de la figure 19.

5.5.2 Migration du polluant dans un sol à capacité au champ. – Les équations et les postulats utilisés pour déterminer la migration du polluant dans la zone non saturée, jusqu'à la nappe phréatique, sont présentés dans le *Manuel d'introduction Enviroguide.* Les vitesses de migration font intervenir la loi de Darcy, alors qu'on pose comme hypothèse la formation d'une colonne saturée en solution polluée, par suite d'un écoulement en bloc (ou écoulement piston).

5.5.3 Coefficient de perméabilité d'un sol saturé vis-à-vis du polluant. – Le coefficient de perméabilité K_0 (ou conductivité hydraulique) mesure la perméabilité d'un sol saturé donné vis-à-vis d'un fluide donné. K_0, qui s'exprime en m/s, est donné par la formule suivante:

$$K_0 = \frac{(\rho g)k}{\mu}$$

où: k = perméabilité intrinsèque du sol (m^2)
ρ = masse volumique du fluide (kg/m^3)
μ = viscosité absolue du fluide (Pa . s)
g = accélération de la pesanteur = 9,81 m/s^2

Les fluides retenus ici sont: une solution d'urée titrant 20 p. 100 et l'eau. Les valeurs établies pour l'eau représentent le point extrême de dilution de la solution.

Valeurs établies pour les fluides

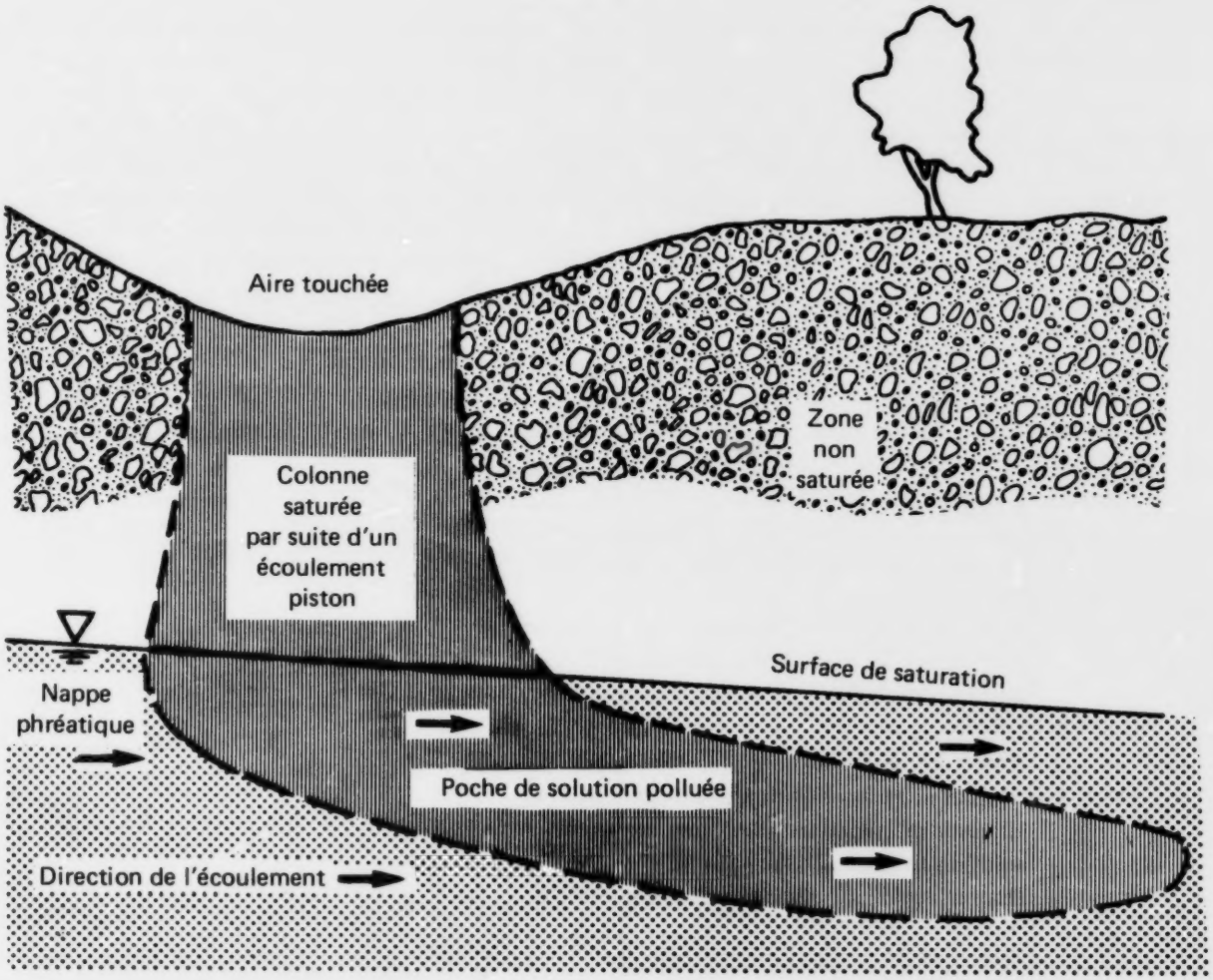
Paramètre	Urée (20 % en poids) (20 °C)	Eau (20 °C)
Masse volumique (kg/m^3)	1053	998
Viscosité absolue (Pa . s)	$1{,}18 \times 10^{-3}$	$1{,}0 \times 10^{-3}$
Coefficient de perméabilité du sol saturé (m/s)	$(0{,}87 \times 10^{7})k$	$(0{,}98 \times 10^{7})k$

5.5.4 Types de sol. – Le *Manuel d'introduction Enviroguide* décrit les trois types de sol retenus pour les besoins de la présente section. Le tableau ci-dessous présente les valeurs établies pour les propriétés qui influent sur la migration des fluides.

Figure 19

URÉE

MIGRATION DANS LE SOUS-SOL



Sol: sable grossier
Porosité = 0,35
Perméabilité intrinsèque = 10^{-9} m^2
Capacité au champ = 0,075

Valeurs établies pour les sols

Propriété	Sable grossier	Sable limoneux	Till argileux
Porosité (m^3/m^3)	0,35	0,45	0,55
Perméabilité intrinsèque (m^2)	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}
Capacité au champ (m^3/m^3)	0,075	0,3	0,45

5.5.5 Nomogrammes de la migration. – Un nomogramme de la migration de l'urée en solution dans la couche de sol non saturée (c.-à-d. à capacité au champ) située au-dessus de la nappe phréatique a été préparé pour chaque type de sol mentionné. Chaque nomogramme montre la hauteur totale de migration h_m en fonction du temps de migration pour un volume donné de fluide déversé au sein d'une colonne de sol d'une superficie donnée. Vu les méthodes utilisées et les hypothèses posées, la profondeur atteinte par le fluide après un temps donné doit être considérée comme maximale. Le lecteur trouvera à la figure 20 le plan d'utilisation des nomogrammes présentés aux figures 21 à 23. La droite représentant la profondeur atteinte par l'eau à 20 °C indique une limite puisqu'elle correspond au point extrême de dilution de l'urée.

5.5.6 Exemple de calcul. – Vingt tonnes d'urée se sont répandues sur un sol constitué de sable limoneux. L'aire touchée a un rayon de 8,6 m. La température atteint 20 °C. Il s'est mis à pleuvoir avant que le nettoyage puisse commencer. Calculer la hauteur de migration atteinte par le fluide, 8 jours après le début de la pluie.

Étape 1 Déterminer la valeur des paramètres.
Masse de fluide déversée = 20 000 kg (20 tonnes)
Température = 20 °C
Rayon de l'aire touchée = 8,6 m
Type de sol = sable limoneux
Profondeur de la surface de saturation = 13 m
Temps écoulé depuis le moment du déversement = 8 j

Étape 2 Calculer la superficie de l'aire touchée par le fluide.
Aire = πr^2 = 232 m^2

Étape 3 Évaluer la hauteur de migration après 8 j.
Hauteur de migration = 6,0 m pour une solution titrant 20 p. 100 = 6,7 m pour une solution très diluée (eau).
(La surface de saturation n'est pas atteinte.)

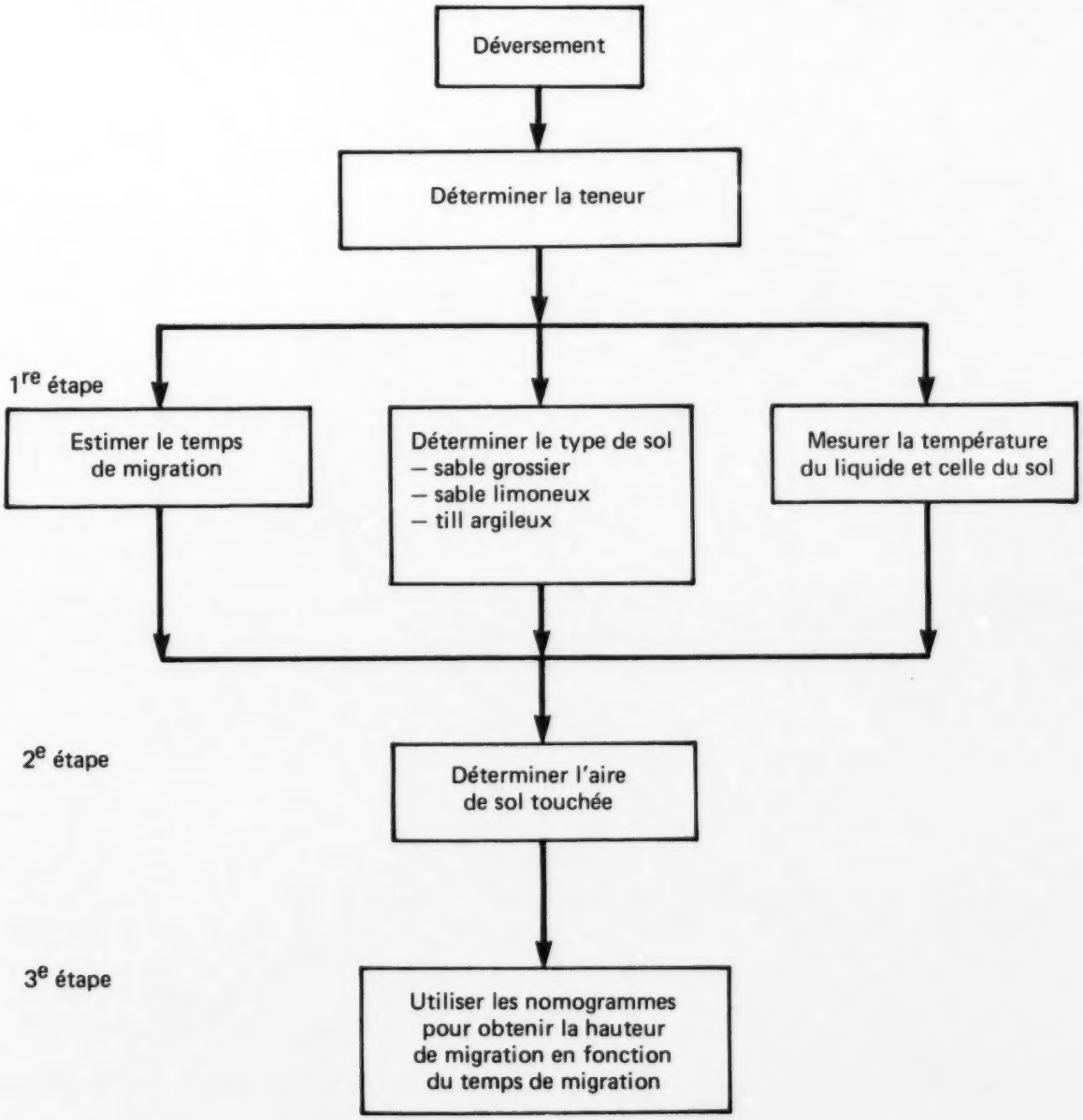

Déversement
Déterminer la teneur
1re étape
Estimer le temps de migration
Déterminer le type de sol
– sable grossier
– sable limoneux
– till argileux
Mesurer la température du liquide et celle du sol
2e étape
Déterminer l'aire de sol touchée
3e étape
Utiliser les nomogrammes pour obtenir la hauteur de migration en fonction du temps de migration

Figure 21

URÉE — MIGRATION DANS UN SABLE GROSSIER

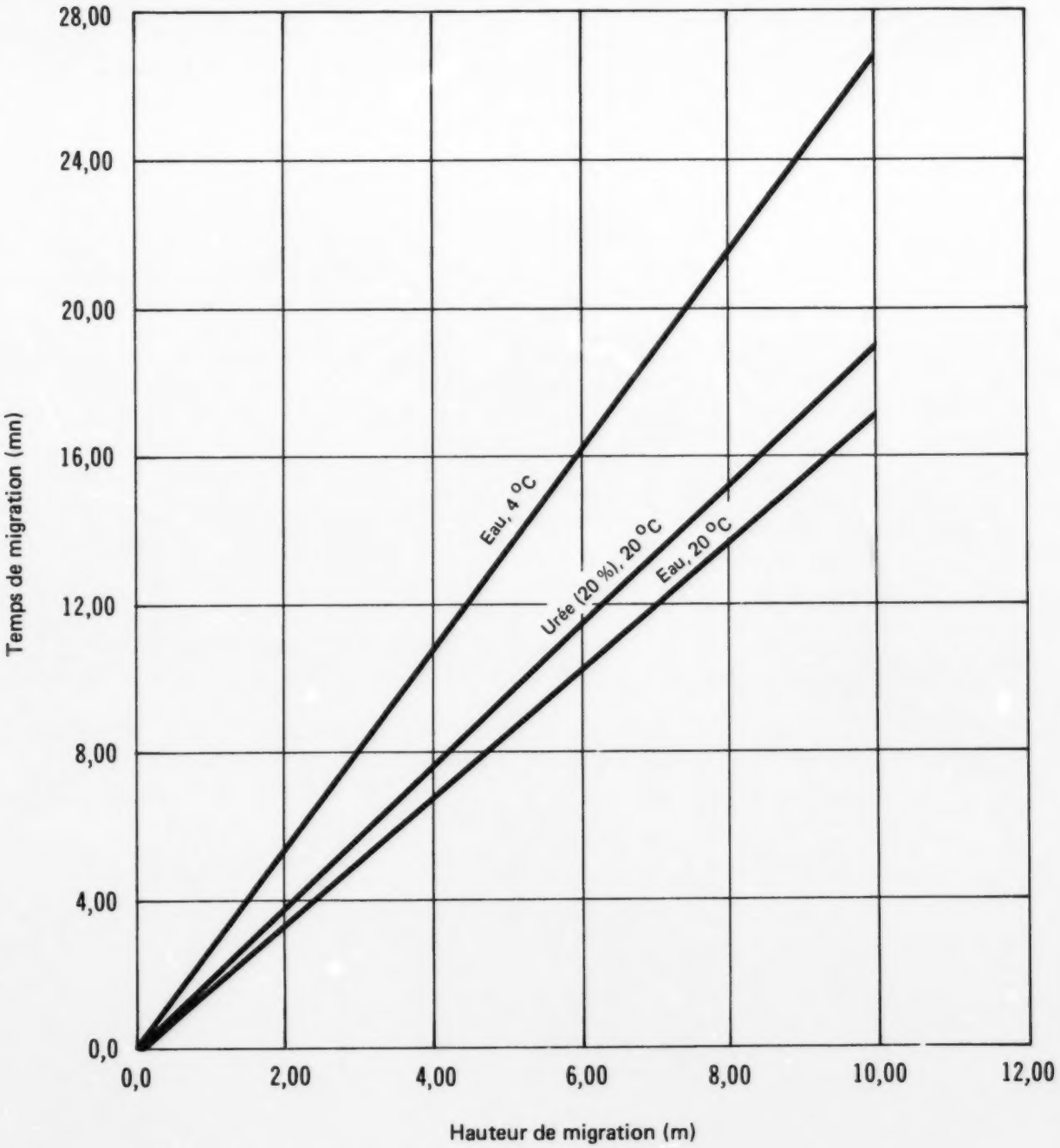


Figure 22

URÉE

MIGRATION DANS UN SABLE LIMONEUX

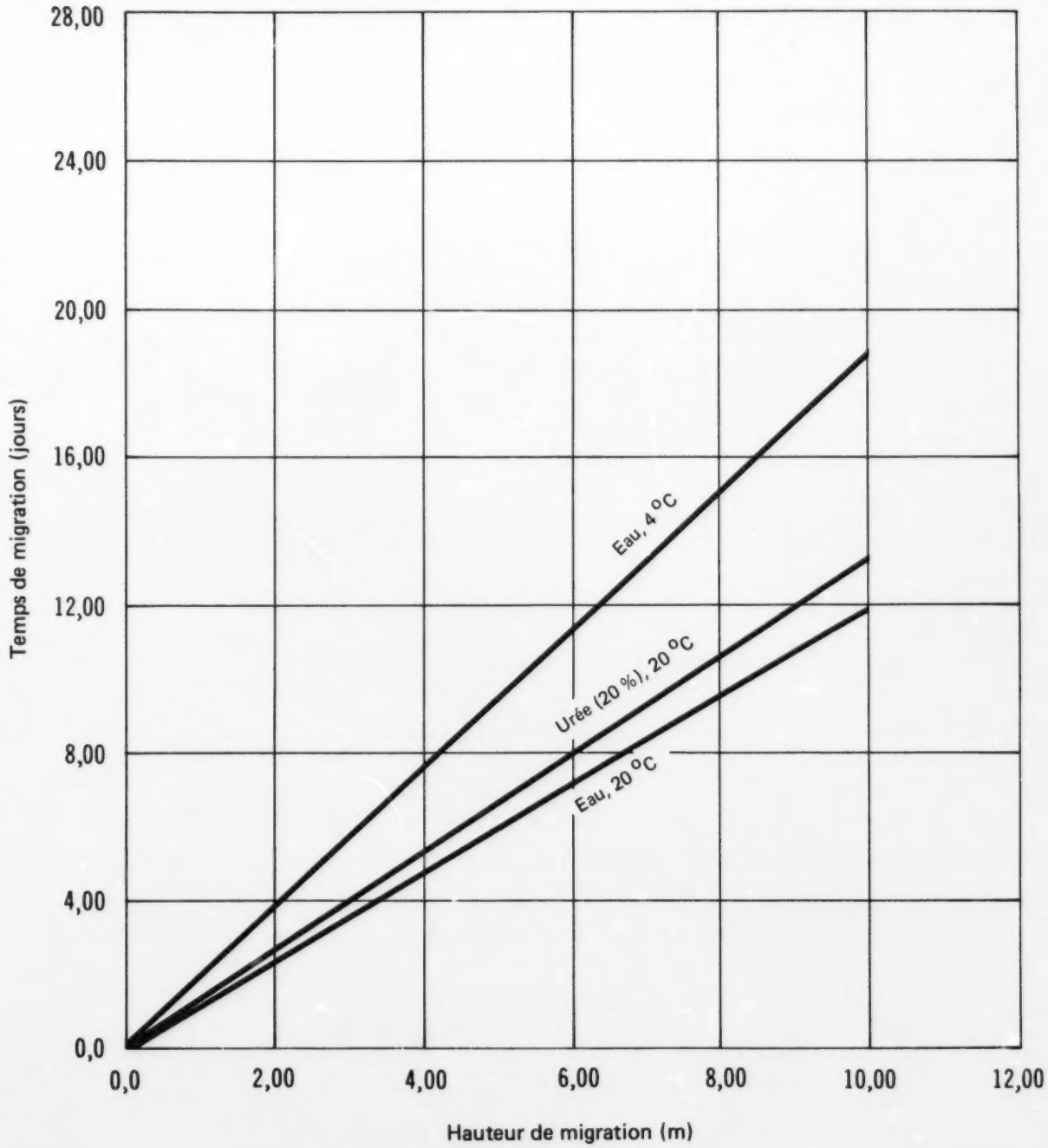
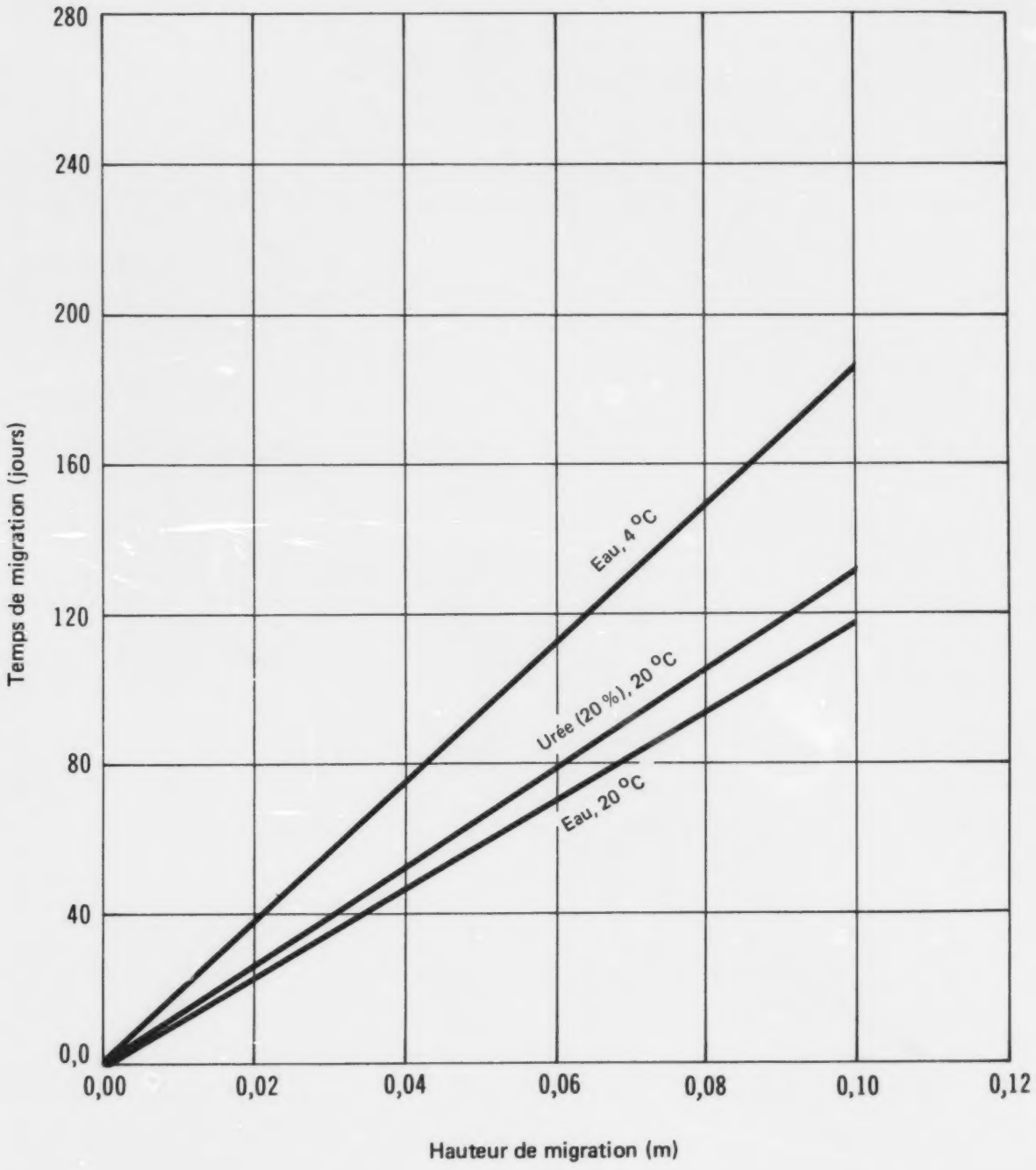


Figure 23

URÉE

MIGRATION DANS UN TILL ARGILEUX



6 PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

6.1 Limites maximales admissibles

6.1.1 Eau de boisson. – La teneur maximale admissible en urée des eaux de boisson de catégorie I est de 10 mg/l (Verschueren, 1984). Il s'agit de la teneur la plus élevée pour laquelle on n'a rapporté aucune impression sensorielle chez l'homme (WQCDB-1, 1970).

6.2 Toxicité pour les espèces aquatiques

6.2.1 Évaluation de la toxicité aux USA. – La tolérance moyenne pour 96 heures (TLm 96) à l'urée correspond à une teneur de plus de 1000 ppm (RTECS, 1979).

Toxicité pour les poissons

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultats	Conditions	Source
17,1	24	Ménés	Non perceptibles	Eau du robinet, stabilisée	WQC, 1963
16 000 à 30 000	24	Ménés de lac	Plage critique au-dessous de laquelle 4 sujets ont vécu 24 h et au-dessus de laquelle tous les sujets sont morts.	Eau de la rivière Detroit	Gillette, 1952

Toxicité pour les micro-organismes

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultats	Conditions	Source
> 10 000	16	Bactéries (*Pseudomonas putida*)	Toxique; inhibe la multiplication des cellules	Eau bidistillée, 25 °C	Bringman, 1980
> 10 000	168	Algues vertes (*Scenedesmus quadricauda*)	Seuil de toxicité	Eau bidistillée, 27 °C, humidité relative de 50 %	Bringman, 1980
29	72	Protozoaires (*Entosiphon sulcatum*)	Seuil de toxicité	Eau bidistillée, 25 °C	Bringman, 1980

6.3 Toxicité pour les mammifères

6.3.1 Mesures de la toxicité

Teneur (mg/l)	Espèces	Résultats	Source
500	Mouton	Dose létale 100; temps moyen de survie: 165 mn	Edjtehadi, 1978

Teneur (mg/l)	Espèce	Résultats	Source
600	Mouton	Dose létale 100; temps moyen de survie: 109 mn	Edjtechadi, 1978
750	Mouton	Dose létale 100; temps moyen de survie: 60 mn	Edjtechadi, 1978
450 g	Poney	80 p. 100 des sujets sont morts; administration par voie orale	Clarke, 1975
50 g	Chèvre	80 p. 100 des sujets sont morts en moins de 30 mn; administration par voie orale	Clarke, 1975
100 g/j	Mouton	Consommation: la teneur en urée ne peut excéder 6 p. 100	Clarke, 1975
2000	Mouton adulte	Convulsions continues après 165 mn	Clarke, 1975
2000	Agneau	Toxiques: les sujets sont morts après 90 à 200 mn	Clarke, 1975
450	Bétail	Dose toxique; première administration	Clarke, 1975
50 g	Bétail	Intoxication (première dose minimale)	Clarke, 1975
100 à 200 g	Bétail	Dose croissante administrée à différents moments; aucun effet nocif	Clarke, 1975

Le bétail acquiert rapidement une tolérance à l'urée, mais cette tolérance disparaît rapidement si la dose est maintenue pendant quelques jours. On a signalé un cas d'intoxication de bétail ayant mangé de l'herbe dans un pâturage ou un engrais contenant de l'urée avait été inégalement répandu (Clarke, 1975).

6.4 Autre toxicité dans l'air et sur terre

Teneur (mg/l)	Espèce	Résultats	Source
600	Grenouille	Dose létale minimale, voie sous-cutanée	RTECS, 1979
16 000	Pigeon	Dose létale minimale, voie sous-cutanée	RTECS, 1979

6.5 Études sur le devenir et les effets de l'urée

L'effet de l'urée sur les constituants du Saccobranche (*Meteropheustes fossilis*) a été étudié; des teneurs relativement élevées ont été requises pour produire un déséquilibre (Srivastava, 1982).

Au cours d'un essai de fertilisation par l'urée dans un estuaire, destiné à augmenter la production alimentaire pour les salmonidés, il a été constaté que la fertilisation n'augmentait pas la productivité primaire ni la régénération de l'azote. Il a été conclu que l'utilisation de l'engrais n'entraînait aucune augmentation appréciable de la croissance ou du taux de survie des salmonidés juvéniles (Stockner, 1982).

Le développement d'algues dans les rivières a été étudié à 25 et 50 mg/l (d'urée à l'état de N) ajoutés à des cultures de *Bracteacoccus minor, Scenedesmus* sp. et *Chlamydomonas* sp. Le développement était accélérée par l'addition, mais il n'y avait pas de différence notable entre les groupes traités à 25 mg/l et les groupes traités à 50 mg/l (Barrett, 1982).

Un engrais à base d'urée a été répandu dans un pâturage et on a étudié les eaux de ruissellement. Pour l'azote à l'état d'ammoniac, la teneur maximale des eaux de ruissellement a été atteinte 3 semaines après l'application de l'engrais, et seulement une semaine après l'application dans le cas de l'azote à l'état de nitrate. Dans les eaux de ruissellement, l'azote à l'état

d'ammoniac ne correspondait qu'à 0,3 p. 100 de la quantité appliquée; l'azote à l'état de nitrate, à 1,0 p. 100; et l'azote total, à 7,1 p. 100. Il a été conclu que la plus grande partie de l'urée appliquée n'a pas été entraînée par les eaux de ruissellement (Sharpley, 1983).

Une étude portant sur la fertilisation d'une forêt a permis de conclure que les taux d'application inférieurs à 224 kg/ha (200 lb de N/acre) ne fournissaient pas efficacement de l'azote. Des applications d'urée supérieures à ce seuil entraînaient des augmentations de l'azote du sol, du pH, de l'ammoniac absorbée et de la capacité d'échange cationique, et plus particulièrement en surface et dans les matériaux de litière en ce qui concerne ce dernier paramètre. L'addition d'urée a semblé avoir des effets néfastes sur l'absorption du phosphore (Baker, 1970).

6.6 Dégradation du polluant

Vitesse de dégradation	Espèce	Conditions	Source
Max.: 11,6 mg/l/h	Bactéries psychrophyles	Traitement des eaux usées à 20 °C	Verschueren, 1984
Moy.: 10,9 mg/l/h	Bactéries psychrophyles	Traitement des eaux usées à 2 °C	Verschueren, 1984
Max.: 4,0 mg/l/h	Bactéries psychrophyles	Traitement des eaux usées à 20 °C	Verschueren, 1984
Moy.: 3,2 mg/l/h	Bactéries psychrophyles	Traitement des eaux usées à 2 °C	Verschueren, 1984

Teneur (mg/l)	Durée (j)	Effet	Conditions	Source
1 à 15	Jusqu'à 14	Dégradation négligeable	< 8 °C, eau de rivière	Evans, 1973
1 à 15	4 à 6	Dégradation complète	20 °C, eau de rivière	Evans, 1973

6.7 Devenir et effets à long terme

L'urée est dégradée en ammoniac et à la longue en nitrate. Comme elle constitue une source d'azote, elle peut accélérer l'eutrophisation (OHM-TADS, 1981).

7 PROTECTION DE LA SANTÉ

On trouve peu d'information dans ce qui a été publié sur les effets toxiques de l'urée chez les animaux de laboratoire et chez l'homme. La mutagénicité et la carcinogénicité de l'urée ont fait l'objet de tests. On signale que le test fait par le N.C.I. a produit des données insuffisantes pour tirer des conclusions concernant le pouvoir cancérogène de l'urée (RTECS, 1979). On n'a trouvé aucune donnée concernant les effets tératogènes possibles de ce produit. Il n'existe pas de compte rendu portant sur la toxicité de l'urée dans la documentation publiée. L'urée figure dans l'inventaire TSCA de l'EPA.

Les données toxicologiques présentées ci-après sont extraites de sources fiables et reconnues. Il est à noter que certaines données valent pour des expositions de longue durée à de faibles teneurs, de sorte qu'elles peuvent ne s'appliquer parfaitement à un cas de déversement. Seules les données sur les expositions de courte durée à de fortes teneurs sont indiquées pour les mammifères autres que l'homme, pour appuyer l'interprétation des données sur la santé, au besoin.

7.1 Normes d'exposition

L'enquête bibliographique menée par les auteurs n'a révélé aucune norme concernant l'exposition à l'urée.

7.2 Données sur l'action irritante

7.2.1 Contact avec la peau

Exposition	Effets	Source
• CHEZ L'HOMME 22 mg (3 j) Intermittente	Inflammation bénigne	RTECS, 1979
• CHEZ LE COBAYE Non précisée	L'administration d'urée a augmenté les effets de la sensibilisation subséquente aux résines époxydes et a augmenté le pourcentage des animaux sensibilisés par les résines époxydes de 50 à 87 p. 100. L'urée seule n'a pas sensibilisé la peau.	TDB (on-line), 1981

7.2.2 Contact avec les yeux

Exposition	Effets	Source
• CHEZ L'HOMME Non précisée	Quand la teneur du sang en urée est plus élevée que celle de l'oeil, il y a	TDB (on-line), 1981

Exposition	Effets	Source
	déplacement de l'eau de l'oeil vers le courant sanguin, ce qui réduit le volume des humeurs aqueuse et vitrée et abaisse la pression intra-oculaire. Quand la teneur du sang en urée est moindre que celle de l'oeil, l'eau peut se déplacer dans l'humeur vitrée, exerçant une pression sur le cristallin et augmentant le risque de glaucome.	
Non précisée	L'oeil est perméable à l'urée. Une récurrence de la hausse de pression intraoculaire et du volume de l'humeur vitrée peut survenir après que l'effet d'hypotension ait pris fin (8 à 12 h après l'administration).	TDB (on-line), 1981
• CHEZ LE LAPIN		
0,2 ml d'une solution 10 *M*	Injectée dans l'humeur vitrée, l'urée provoque une inflammation.	TDB (on-line), 1981

7.3 Données sur les propriétés organoleptiques

7.3.1 Odeur. – L'urée est inodore ou elle dégage une légère odeur, semblable à celle de l'ammoniac (CHRIS, 1978).

7.3.2 Saveur

Seuil	Milieu	Teneur	Source
Identification	Eau	0,0501 mol/l (3 ppm)	ASTM, 1980
Perception	Eau	0,120 mol/l (7 ppm)	ASTM, 1980
Identification	Eau	0,261 mol/l (16 ppm)	ASTM, 1980
Identification	Eau	0,316 mol/l (19 ppm)	ASTM, 1980
Identification	Eau	0,398 mol/l (24 ppm)	ASTM, 1980

7.4 Études sur les effets toxiques

7.4.1 Inhalation. – Aucune donnée n'a été obtenue.

7.4.2 Ingestion

Exposition	Effets	Source
	Exposition de courte durée	
• CHEZ LE BÉTAIL		
511 mg/kg	Dose létale minimale	RTECS, 1979

Exposition	Effets	Source
• CHEZ LE MOUTON		
2 g/kg	Des agneaux sont morts après 90 à 200 minutes. Des moutons (adultes) ont été atteints de convulsions presque continues après 165 minutes. Les moutons peuvent consommer jusqu'à 100 g d'urée par jour, à condition que la teneur en urée de leur ration ne dépasse pas 6 p. 100. Un dysfonctionnement du foie accroît la vulnérabilité à l'intoxication.	TDB (on-line), 1981
• CHEZ LA CHÈVRE		
50 g	Mort de 4 sujets sur 5 en moins de 30 minutes	TDB (on-line), 1981
• CHEZ LE PONEY		
450 g	Mort de 7 sujets sur 8	TDB (on-line), 1981

7.4.3 Administration par voie sous-cutanée

Exposition	Effets	Source
• CHEZ LE COCHON		
16 g/kg	Dose létale minimale	RTECS, 1979
• CHEZ LE CHIEN		
3000 mg/kg	Dose létale minimale	RTECS, 1979
• CHEZ LE LAPIN		
3000 mg/kg	Dose létale minimale	RTECS, 1979

7.4.4 Mutagénicité, tératogénicité et cancérogénicité

Exposition	Effets	Source
• CHEZ LE HAMSTER		
16 g/l (24 h)	Analyse cytogénique pour déceler la présence d'aberrations chromosomiques dans les fibroblastes.	RTECS, 1979
Non précisée	Un test de carcinogénicité a été fait par le N.C.I. Aucune conclusion n'a été possible à cause de l'insuffisance des données recueillies.	RTECS, 1979

7.5 Symptômes et conséquences de l'intoxication

Aucune référence n'est donnée pour les symptômes de nature générale signalés dans la plupart des ouvrages de consultation. Seule la mention d'un symptôme ou d'un trouble de nature particulière ou inhabituelle est suivie d'une indication de source.

7.5.1 Inhalation. – Aucune donnée n'a été obtenue.

7.5.2 Ingestion. – Aucune donnée n'a été obtenue.

7.5.3 Contact avec la peau

1. Irritation bénigne (RTECS, 1979)

7.5.4 Contact avec les yeux

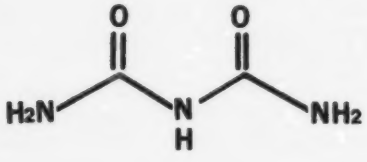
1. Irritation (CHRIS, 1978)
2. Modifications de la pression intraoculaire (TDB (on-line), 1981)

7.6 Toxicité pour l'homme des produits de décomposition ou de combustion

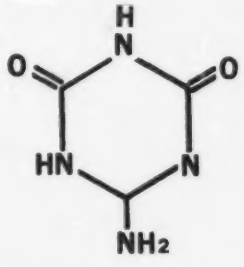
L'urée se décompose à la pression atmosphérique et à son point de fusion en ammoniac, en biuret, en acide cyanurique, en ammélide et en triuret (Kirk-Othmer, 1983).

L'ammoniac est un gaz incolore à odeur pénétrante, piquante et suffocante. Son odeur est décelable à des teneurs aussi faibles que 5 ppm. À 100 ppm, l'irritation des muqueuses est visible; l'exposition prolongée à des teneurs supérieures à 400 ppm peut détruire les muqueuses en dissolvant ou en émulsifiant la kératine, les matières grasses et le cholestérol. La cause la plus fréquente de décès dû à l'exposition à l'ammoniac est l'oedème pulmonaire. Sa TLV® est de 25 ppm (8 h, MPT) et sa STEL est de 35 ppm (TLV, 1983).

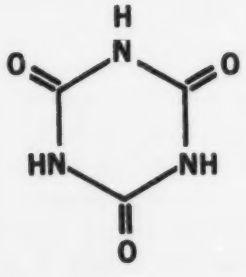
On trouve peu d'information sur la toxicité du biuret, de l'acide cyanurique, de l'ammélide et du triuret (voir la formule ci-dessous).



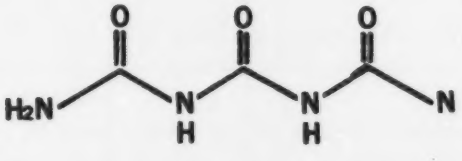
Biuret



Ammélide



Acide cyanurique



Triuret

8 COMPATIBILITÉ CHIMIQUE

8.1 Compatibilité entre l'urée et divers agents

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
En général														
Feu						●							Si la température dépasse le point d'ébullition.	Sax, 1979
Chaleur						●							Lorsque le corps est chauffé au-delà du point d'ébullition.	Sax, 1979
Corps														
Chlorure de chromyle		●												Bretherick, 1979
Nitrite de sodium			●											Bretherick, 1979
Perchlorate de gallium						●				●			Le sel se décompose violemment s'il est chauffé.	NFPA, 1978
Perchlorate de nitrosyle		●												Bretherick, 1979
Tétrachlorure de titane						●							Le complexe liquide d'hexaurée formé se décompose violemment à plus de 90 °C.	Bretherick, 1979
Groupes de corps														
Hypochlorites			●										Formation de trichlorure d'azote; explose spontanément à l'air.	NFPA, 1978

9 MESURES D'INTERVENTION ET DE SÉCURITÉ

9.1 Mesures recommandées

Les brefs exposés qui figurent dans la présente section sont repris des ouvrages sur lesquels a porté notre enquête bibliographique. Leur formulation d'origine a été respectée pour éviter toute déformation de sens; ce faisant, il a été impossible d'empêcher que n'apparaissent des divergences entre les sources d'information. Toutefois, les divergences au sujet de mesures qui s'appliquent à des cas particuliers ne sont qu'apparentes, l'information pouvant être correcte ou non selon la situation. La mention d'une mesure ne constitue d'aucune façon une recommandation de la part d'Environnement Canada.

9.1.1 Danger d'incendie. – L'urée est une matière solide ininflammable; elle peut être très dangereuse quand elle est chauffée à sa température de décomposition (133 °C) (Sherritt MSDS, 1980).

9.1.2 Moyens d'extinction. – La plupart des moyens d'extinction peuvent être utilisés dans les incendies où l'on trouve de l'urée.

9.1.3 Mesures d'intervention en cas de déversement

9.1.3.1 Information générale. – Arrêter la fuite ou réduire le débit si cela peut être fait sans danger. Éviter tout contact avec la peau (Olin MSDS, 1981).

9.1.3.2 Déversement sur le sol. – S'il s'agit d'urée solide, ramasser à la pelle les matières polluées et les mettre dans des récipients en vue de l'élimination (Olin MSDS, 1981). S'il s'agit d'urée en solution, confiner si possible à l'aide de barrières mécaniques et(ou) chimiques pour éviter l'étalement. Neutraliser avec du vinaigre ou de l'acide diluée (EPA 670/2-75-042).

9.1.3.3 Déversement dans l'eau. – Confiner si possible. Appliquer du charbon actif, à raison de 10 p. 100 de la quantité déversée, sur la zone polluée par des teneurs de 10 mg/l ou plus. Utiliser des dragues ou des dispositifs de levage mécaniques pour enlever les masses de polluants immobilisés (EPA 670/2-75-042).

Les sorbants suivants peuvent être utilisés en cas de déversement: résines Amberlite XAD, Dowex 50WX8, et Amberlite IRA 900 (CG-D-38-76).

9.1.4 Traitement et élimination. – Les usines de fabrication d'urée disposent d'un certain nombre de procédés d'épuration; l'eau polluée par l'urée et recueillie peut leur être envoyée (Bruls, 1982). De plus, l'urée est dégradée dans les stations ordinaires d'épuration des eaux usées à environ 20 °C, de sorte qu'une seconde option existe.

On a essayé l'osmose inverse pour épurer des solutions d'urée. Les membranes d'acétate de cellulose ont éliminé de 20 à 40 p. 100 de l'urée en un seul passage; la polyéthylèneimine réticulée, de 70 à 80 p. 100; et les membranes de polyamide aromatique, de 30 à 50 p. 100 (Fang, 1976).

Si les matières recueillies ne sont pas polluées par des produits chimiques dangereux, l'urée peut être épandue comme engrais; des taux de 200 à 400 kg/ha sont recommandés.

9.1.5 Mesures de protection. – Pour pénétrer dans une zone où les matières déversées et leurs caractéristiques sont inconnues, il faut porter un appareil de protection respiratoire isolant et un scaphandre résistant aux agents chimiques.

S'il s'avère que le produit déversé est de l'urée:

- Des lunettes de sécurité, une combinaison, des bottes et des gants imperméables doivent être portés (Olin MSDS, 1981);
- En cas de chaleur intense, il faut porter un masque à bidon filtrant (matières organiques et gaz acide) (OHM-TADS, 1981).

10 CAS DE DÉVERSEMENT ACCIDENTEL

10.1 Information générale

Le chapitre 10 donne en principe des renseignements qui permettent au lecteur de mieux comprendre le processus d'intervention et les mesures de lutte que requiert un déversement accidentel. Les cas rapportés sont choisis en fonction de certains critères; il ne faut pas voir dans le nombre de cas décrits une indication relative à l'ampleur ou à la fréquence des déversements.

Lorsqu'il y aura une nouvelle édition du présent guide, les auteurs procéderont à une mise à jour qui permettra de présenter dans ce chapitre toute information pertinente qui rendra compte du progrès des techniques d'intervention.

11 IDENTIFICATION ET DOSAGE DU POLLUANT

Les méthodes d'analyse utilisées pour l'identification et le dosage des polluants chimiques d'intérêt prioritaire sont expliquées dans les lignes qui suivent.

Les méthodes décrites et les références signalées ont été choisies en fonction d'analyse d'échantillons d'air, d'eau et de sol devant être faites dans un laboratoire de chimie doté d'un équipement standard, éloigné du lieu d'où proviennent les prélèvements. Les auteurs ont consulté les sources habituelles exposant les méthodes normalisées ou recommandées, et décrit sommairement celles qui s'appliquent à chaque produit chimique. Parmi ces sources, on compte des publications du National Institute for Occupational Safety and Health des États-Unis (NIOSH), de l'Environmental Protection Agency des États-Unis (EPA), de l'American Water Works Association, de l'American Society for Testing and Materials et de l'American National Standards Institute.

Lorsque les méthodes normalisées ou recommandées ont été jugées fiables et suffisamment spécifiques pour l'analyse des échantillons provenant des matières déversées et du milieu touché et lorsqu'elles ne nécessitaient pas un équipement de laboratoire hautement spécialisé, nous n'avons pas cherché plus loin. Enfin, lorsque nous avons découvert des tests simples et fiables, couramment utilisés dans l'industrie, nous les avons signalés.

11.1 Dosage du polluant présent dans l'air

Comme l'urée n'est pas volatile et qu'elle est habituellement transportée sous forme de sphérule, un déversement ne devrait comporter aucun danger de pollution de l'air.

11.2 Dosage du polluant présent dans l'eau (analyse quantitative)

11.2.1 Microcoulométrie (ASTM, 1979). – L'urée dans l'eau peut être dosée à l'état d'azote total à des teneurs de 0,5 à 100 mg/l.

Un volume minimal de 2 l d'un échantillon représentatif est recueilli dans un contenant approprié. Une portion adéquate de 3 μl d'échantillon est injectée dans un courant d'hydrogène (débit: 300 ml/mn) à travers un tube à pyrolyse en quartz. Le tube à pyrolyse contient du nickel de granulométrie 10/40 et il est enchâssé dans un four à pyrolyse pourvu de 3 zones séparées de chauffage, capable d'atteindre les températures suivantes: zone d'entrée, 700 °C; zone de pyrolyse, 800 °C; et zone de sortie, 800 °C. Le tube de pyrolyse doit comporter de l'amiante portant 50 p. 100 en poids d'hydroxyde de sodium à la sortie, qui sert d'épurateur du gaz acide. La cellule de filtration contient une paire d'électrodes servant de capteur de référence, ainsi qu'un agitateur réglé de façon à produire un petit tourbillon. L'atténuation et la tension de polarisation du microcoulomètre sont réglés à 110 mV avec un gain de 400 à 600.

La teneur de l'échantillon est déterminée à l'aide d'un intégrateur électronique approprié, avec une courbe d'étalonnage.

11.3 Identification du polluant présent dans l'eau (analyse qualitative)

L'échantillon est recueilli comme en 11.2.1. L'urée peut être analysée qualitativement par réaction avec l'acide nitreux. Un volume approprié d'échantillon est placé dans une éprouvette et de l'acide nitreux est ajouté. Un dégagement de dioxyde de carbone indique la présence d'urée (Morrison, 1976).

11.4 Dosage du polluant présent dans le sol (analyse quantitative)

11.4.1 Spectrophotométrie (Mulvaney, 1979). – Des teneurs du sol en urée atteignant jusqu'à 100 μg/ml peuvent être mesurées par spectrophotométrie.

Un échantillon de sol est extrait à l'aide d'une solution de chlorure de potassium – acétate phénylmercurique 2 *M*. Un volume de 10 ml de l'extrait est transféré dans une fiole jaugée de 50 ml et dilué avec 10 ml de solution de chlorure de potassium – acétate phénylmercurique 2 *M*. Un volume de 30 ml de réactif coloré est ajouté au mélange. Ce réacteur est préparé en mélangeant 50 ml de diacétylmonoxime (2,5 g/100 ml) et 30 ml de thiosemicarbazide (0,25 g/100 ml) et en diluant jusqu'à 1 litre avec du réactif acide. Le réactif acide est préparé en mélangeant 40 ml d'acide sulfurique concentré et 1 litre d'acide phosphorique à 85 p. 100 (pourcentage massique) et en diluant à 2 l avec de l'eau distillée. Le réactif coloré doit être préparé immédiatement avant d'être utilisé.

Le traitement de l'échantillon continue comme ci-dessous. Après l'addition du réactif coloré, le mélange est agité et placé dans un bain d'eau pendant 30 minutes à 85 °C. L'échantillon est ensuite refroidi à l'eau et on porte le volume à 50 ml en cas de perte d'échantillon. L'absorbance de l'échantillon est mesurée à 527 nm à l'aide d'un spectrophotomètre approprié. La teneur de l'échantillon est déterminée à l'aide d'une courbe d'étalonnage.

11.5 Identification du polluant présent dans le sol (analyse qualitative)

L'échantillon est recueilli comme en 11.4.1. L'urée peut être caractérisée qualitativement par réaction avec l'acide nitreux. Un volume approprié d'échantillon est placé dans une éprouvette et de l'acide nitreux est ajouté. Un dégagement de dioxyde de carbone indique la présence d'urée (Morrison, 1976).

12 RÉFÉRENCES ET BIBLIOGRAPHIE

(Reproduction intégrale de l'édition anglaise)

12.1 Références

AAR 1982: Association of American Railroads, Washington, DC, private communication (1982).

ASTM 1979: American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Part 31, Water, Philadelphia, PA, D3589, D1192, D3370 (1979).

ASTM 1980: American Society for Testing and Materials, Compilation of Odor and Taste Threshold Values Data, Philadelphia, PA, ASTM Data Series DS-48A (1980).

Baker 1970: Baker, J., Some Effects of Urea Fertilization on Soil Characteristics and Tissue Mineral Content in Overstocked Western Hemlock Stands, Forest Research Laboratory, Canadian Forestry Service, Victoria, B.C., Report No. BC-X-39 (1970).

Barrett 1982: Barrett, M.R. and A.R. Kock, "Effects of Ammonium Sulfate and Urea on the Growth of Chlorophycean Algae from Rice Fields", J. Environ. Qual., 11, No. 2, pp. 187-190 (1982).

Bretherick 1979: Bretherick, L., Handbook of Reactive Chemical Hazards, second edition, Butterworths, London, England (1979).

Bringman 1980: Bringman, G. and R. Kuehn, "Comparison of the Toxicity Thresholds of Water Pollutants to Bacteria, Algae, and Protozoa in the Cell Multiplication Inhibition Test", Water Research, 14, pp. 231-241 (1980).

Bruls 1982: Bruls, B., P. Van Nasau and J. Dahlmans, "Purification of Waste Water of Urea Plants to Extreme Low Ammonia and Urea Levels", Proceedings of the Fertilizer Inst. Environ. Symp., March 8-10, 1982, San Antonio, TX (1982).

CBG 1980: Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers' Guide", Canadian Chemical Processing, 64, No. 9, Don Mills, Ontario (December, 1980).

CCP 1982a: "News/Update-Ambitious Plans for BC Gas", Canadian Chemical Processing, Vol. 66, No. 1, p. 14 (February 19, 1982).

CCP 1982b: "News/Update-More Ammonia/PE for C-I-L", Canadian Chemical Processing, Vol. 66, No. 2, p. 14 (March, 1982).

CCPA 1984: Canadian Chemical Producers' Association, Ottawa, Ontario, private communication (1984).

CDS 1967: National Association of Corrosion Engineers, Corrosion Data Survey, Houston, TX (1967).

CG-D-38-76: Bauer, W.H. et al., Agents, Methods and Devices for Amelioration of Discharge of Hazardous Chemicals on Water, Rensselaer Polytechnic Institute for the U.S. Coast Guard, Washington, DC, CG-D-38-76 (August, 1975).

Chao 1967: Chao, G.T., Urea Its Properties and Manufacture, Chao's Institute, West Corina, CA (1967).

CHRIS 1978: U.S. Department of Transportation, Coast Guard, Chemical Hazards Response Information System (CHRIS), Washington, DC (1978).

Clarke 1975: Clarke, E.G. and M.L. Clarke, Veterinary Toxicology, Lea & Febiger Press, Philadelphia, PA, p. 30 (1975)

CLC 1974: Association of American Railroads, The Car and Locomotive Cyclopedia of American Practices, published by Simmons-Boardman, Omaha, NB (1974).

Corpus 1983: Corpus Information Services Ltd., "Urea", Chemical Product Profiles, Don Mills, Ontario (December 15, 1983).

CRC 1980: Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, OH (1980).

Cyanamid 1982: Cyanamid Canada Inc., Manufacturer's Literature, Niagara Falls, Ontario (February 4, 1982).

Cyanamid MSDS 1976: Cyanamid Canada Inc., Material Safety Data Sheet, Niagara Falls, Ontario (November, 1976).

DCRG 1978: Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, MI (1978).

Debies 1974: Debies, T.P. and J.W. Rabalats, Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, 3, p. 315 (1974).

Dow PPS 1972: Dow Chemical Company, Dow Plastic Lined Piping Systems, Midland, MI, Brochure 178-102-72 (1972).

DPLP 1972: Dow Chemical Company, Dow Plastic Lined Pipe and Fittings, Midland, MI (1972).

DPLV 1972: Dow Chemical Company, Dow Plastic Lined Valves, Midland, MI (1972).

DPPED 1967: DOM-X, DOM-X Plastic Pipe Engineering Data, Toronto, Ontario (1967).

Edjtehadi 1978: Edjtehadi, M., M. Szabuniewicz and B. Emmanu, "Acute Urea Toxicity in Sheep", Canadian Journal of Comparative Medicine, 64, No. 1, pp. 63-68 (1978).

EPA 670/2-75-042: Pilie, R.J. et al., Methods to Treat, Control and Monitor Spilled Hazardous Materials, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, OH, EPA 670/2-75-042 (June, 1975).

Evans 1973: Evans, W.H. and S. Patterson, "Biodegradation of Urea In River Water Under Controlled Laboratory Conditions", Water Research, 7, pp. 975-985 (July, 1973).

Fang 1976: Fang, H.H.P. and E.S.K. Chian, "Reverse Osmosis Separation of Polar Organic Compounds", Environ. Sci. Technol., 10, No. 4, pp. 354-369 (1976).

FKC 1975: Lowenheim, F.A. and M.K. Moran, Faith, Keye's and Clark's Industrial Chemicals, Wiley-Interscience, New York, NY (1975).

GF: GF Plastic Systems Inc., GF Plastic Systems, Santa Ana, CA (not dated).

Gillette 1952: Gillette, L.A., D.L. Miller and H.E. Redman, "Appraisal of a Chemical Waste Problem by Fish Toxicity Tests", Sewage Industrial Wastes, 24, No. 11, pp. 1397-1401 (1952).

GPP: Uniroyal Inc., Guide to Polymer Properties, Mishawaka, IN (not dated).

Hansch and Leo 1979: Hansch, C. and A. Leo, Substitute Constants for Correlation Analysis in Chemistry and Biology, John Wiley & Sons Inc., New York, NY (1979).

Kirk-Othmer 1983: Grayson, M. and D. Eckroth (eds.), Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, third edition, Vol. 21, John Wiley & Sons Inc., New York, NY (1983).

Lange's Handbook 1979: Dean, J.A. (ed.), Lange's Handbook of Chemistry, 12th edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1979).

Merck 1976: Windholz, M., S. Budavari, L.Y. Stroumtsos and M.N. Fertig (eds.), The Merck Index, ninth edition, Merck & Co. Inc., Rahway, NJ (1976).

Morrison 1976: Morrison, R.T. and R.N. Boyd, Organic Chemistry, Third Edition, Allyn and Bacon, Inc., Toronto, Ontario, p. 345 (1976).

Mulvaney 1979: Mulvaney, R.L. and J.M. Bremner, "Modified Diacetyl Monoxime Method for Colourimetric Determination of Urea in Soil Extracts", Communications in Soil Science and Plant Analysis, Vol. 10, No. 7, pp. 1163-1170 (1979).

MWPP 1978: Rehau, Mechan-O-Joint Water Pressure Pipe and Fittings, Montreal, Quebec (1978).

NFPA 1978: National Fire Protection Association, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, seventh edition, Boston, MA (1978).

OHM-TADS 1981: Oil and Hazardous Materials Technical Assistance Data System, U.S. Environmental Protection Agency, Oil and Special Materials Control Division, Office of Water Programs Operations, Washington, DC (1981).

Olin MSDS 1981: Olin Corporation, Material Safety Data Sheet, "Urea", Stamford, CT (February, 1981).

Oline PD 1981: Olin Corporation, Industrial Chemicals Product Data, Stamford, CT (February, 1981).

PC 1982: Cyanamid Canada Inc., Niagara Falls, Ontario, personal communication (February 4, 1982).

Perry 1973: Perry, R.H. and C.H. Chilton (eds.), Chemical Engineer's Handbook, fifth edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1973).

* RTDCR 1974: Canadian Transport Commission, Regulations for the Transportation of Dangerous Commodities by Rail, published by Supply and Services Canada, Ottawa, Ontario (1974).

* Publié également en français.

RTECS 1979: Lewis, R.J. and R.L. Tatken, Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, OH (September, 1980).

Sax 1979: Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, fifth edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1979).

Scott 1979: Scott's Industrial Directory of Ontario Manufacturers, 12th edition, Penstock Directories Limited, Oakville, Ontario (1979).

Sharpley 1983: Sharpley, A.N., J.K. Syers and R.W. Tillman, "Transport of Ammonium- and Nitrate-Nitrogen in Surface Runoff from Pasture as Influenced by Urea Application", Water, Air and Soil Pollution, 14, No. 3, pp. 425-430 (1983).

Sherritt MSDS 1978: Sherritt Gordon Mines Ltd., Material Safety Data Sheet, Fort Saskatchewan, Alberta (1978).

Sherritt MSDS: Sherritt Gordon Mines Ltd., Material Safety Data Sheet, Fort Saskatchewan, Alberta (not dated).

Sherritt MSDS 1980: Sherritt Gordon Mines Ltd., Material Safety Data Sheet, "Urea", Fort Saskatchewan, Alberta (1980).

Sherritt 1982: Sherritt Gordon Mines Ltd., Manufacturer's Literature, Toronto, Ontario (February, 1982).

Srivastava 1982: Srivastava, P.N. and A.S. Harain, "Leucocytic and Haemostatic Reactions of the Indian Catfish, *Meterophneustes fossils*, Subjected to Environmental Pollution by Sewage, Fertilizers and Insecticides", Acta Pharmacol. Toxicol., 50, No. 13 (1982).

Stockner 1982: Stockner, J.G. and C.D. Levings, Biological Reconnaissance of Yakoun River Estuary, Queen Charlotte Islands, and Results of a Trial Fertilization with Urea, Department of Fisheries and Oceans, West Vancouver, B.C., Technical Report No. 1132 (1982).

Streeter 1971: Streeter, V.L., Fluid Mechanics, fifth edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1971).

Sullivan 1982: Sullivan, W.H., Air Pollution Emissions and Control Technology, Nitrogen and Phosphate Fertilizer Industries, Air Pollution Control Directorate, Environment Canada, Ottawa, Ontario, EPS 3-AP-82-2 (1982).

Sussex 1977: Pedley, J.B. and J. Rylance, Sussex-N.P.L. Computer Analysed Thermochemical Data: Organic and Organometallic Compounds, University of Sussex, Sussex, Brighton, England (1977).

TCM 1979: General American Transportation Corporation, Tank Car Manual, Chicago, IL (May, 1979).

TDB (on-line) 1981: Toxicity Data Base, Toxicology Information On-Line, available from National Library of Medicine, Washington, DC (1981).

* TDGC 1980: Transport Canada, Transportation of Dangerous Goods Code, Vol. 1 (Lists), Vol. 2, Ottawa, Canada (June, 1980).

* Publié également en français.

TLV 1983: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLV®s Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1983-84, Cincinnati, OH (1983).

TPS 1978: GSR Fluid Handling, Thermoplastic Piping Systems, Sun Valley, CA (1978).

Ullmann 1975: Ullmanns Encyklopaedie der technischen Chemie, Verlag Chemie, Weinheim (1975).

Verschueren 1984: Verschueren, K., Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY, pp. 628-629 (1984).

WQC 1963: McKee, J.E. and H.W. Wolf, Water Quality Criteria, second edition, Resources Agency of California, State Water Quality Control Board (1963).

WQCDB-1 1970: Water Quality Criteria Data Book: Organic Chemical Pollution of Freshwater, Vol. 1, p. 310, U.S. Environmental Protection Agency, Water Quality Office, Washington, DC (1970).

12.2 Bibliographie

American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLV®s Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1983-84, Cincinnati, OH (1983).

American Society for Testing and Materials, Compilation of Odor and Taste Threshold Values Data, Philadelphia, PA, ASTM Data Series DS-48A (1980).

American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Part 31, Water, Philadelphia, PA, D3589, D1192, D3370 (1979).

Association of American Railroads, The Car and Locomotive Cyclopedia of American Practices, published by Simmons-Boardman, Omaha, NB (1974).

Association of American Railroads, Washington, DC, private communication (1982).

Baker, J., Some Effects of Urea Fertilization on Soil Characteristics and Tissue Mineral Content in Overstocked Western Hemlock Stands, Forest Research Laboratory, Canadian Forestry Service, Victoria, B.C., Report No. BC-X-39 (1970).

Barrett, M.R. and A.R. Kock, "Effects of Ammonium Sulfate and Urea on the Growth of Chlorophycean Algae from Rice Fields", J. Environ. Qual., 11, No. 2, pp. 187-190 (1982).

Bauer, W.H. et al., Agents, Methods and Devices for Amelioration of Discharge of Hazardous Chemicals on Water, Rensselaer Polytechnic Institute for the U.S. Coast Guard, Washington, DC, CG-D-38-76 (August, 1975).

Bretherick, L., Handbook of Reactive Chemical Hazards, second edition, Butterworths, London, England (1979).

Bringman, G. and R. Kuehn, "Comparison of the Toxicity Thresholds of Water Pollutants to Bacteria, Algae, and Protozoa in the Cell Multiplication Inhibition Test", Water Research, Vol. 14, pp. 231-241 (1980).

Bruls, B., P. Van Nasau and J. Dahlmans, "Purification of Waste Water of Urea Plants to Extreme Low Ammonia and Urea Levels", Proceedings of the Fertilizer Inst. Environ. Symp., March 8-10, 1982, San Antonio, TX (1982).

Canadian Chemical Producers' Association, Ottawa, Ontario, private communication (1982).

* Canadian Transport Commission, Regulations for the Transportation of Dangerous Commodies by Rail, published by Supply and Services Canada, Ottawa, Ontario (1974).

Chao, G.T., Urea Its Properties and Manufacture, Chao's Institute, West Corina, CA (1967).

Clarke, E.G. and M.L. Clarke, Veterinary Toxicology, Lea & Febiger Press, Philadelphia, PA, p. 30 (1975)

Corpus Information Services Ltd., "Urea", Chemical Product Profiles, Don Mills, Ontario (December 15, 1983).

Cyanamid Canada Inc., Material Safety Data Sheet, Niagara Falls, Ontario (November, 1976).

Cyanamid Canada Inc., Manufacturer's Literature, Niagara Falls, Ontario (February 4, 1982).

Cyanamid Canada Inc., Niagara Falls, Ontario, personal communication (February 4, 1982).

Dean, J.A. (ed.), Lange's Handbook of Chemistry, 12th edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1979).

Debies, T.P. and J.W. Rabalats, Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, Vol. 3, p. 315 (1974).

DOM-X, DOM-X Plastic Pipe Engineering Data, Toronto, Ontario (1967).

Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, MI (1978).

Dow Chemical Company, Dow Plastic Lined Pipe and Fittings, Midland, MI (1972).

Dow Chemical Company, Dow Plasticlined Piping Systems, Midland, MI, Brochure 178-102-72 (1972).

Dow Chemical Company, Dow Plastic Lined Valves, Midland, MI (1972).

Edjtehadi, M., M. Szabuniewicz and B. Emmanu, "Acute Urea Toxicity in Sheep", Canadian Journal of Comparative Medicine, 64, No. 1, pp. 63-68 (1978).

Evans, W.H. and S. Patterson, "Biodegradation of Urea In River Waters Under Controlled Laboratory Conditions", Water Research, 7, pp. 975-985 (July, 1973).

Fang, H.H.P. and E.S.K. Chian, "Reverse Osmosis Separation of Polar Organic Compounds", Environ. Sci. Technol., 10, No. 4, pp. 354-369 (1976).

* Publié également en français.

General American Transportation Corporation, Tank Car Manual, Chicago, IL (May, 1979).

GF Plastic Systems Inc., GF Plastic Systems, Santa Ana, CA (not dated).

Gillette, L.A., D.L. Miller and H.E. Redman, "Appraisal of a Chemical Waste Problem by Fish Toxicity Tests", Sewage Industrial Wastes, 24, No. 11, pp. 1397-1401 (1952).

Grayson, M. and D. Eckroth (eds.), Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, third edition, Vol. 21, John Wiley & Sons Inc., New York, NY (1983).

GSR Fluid Handling, Thermoplastic Piping Systems, Sun Valley, CA (1978).

Hansch, C. and A. Leo, Substitute Constants for Correlation Analysis in Chemistry and Biology, John Wiley & Sons Inc., New York, NY (1979).

Lewis, R.J. and R.L. Tatken, Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, OH (September, 1980).

Lowenheim, F.A. and M.K. Moran, Faith, Keye's and Clark's Industrial Chemicals, Wiley-Interscience, New York, NY (1975).

McKee, J.E. and H.W. Wolf, Water Quality Criteria, Second Edition, Resources Agency of California, State Water Quality Control Board (1963).

Morrison, R.T. and R.N. Boyd, Organic Chemistry, third edition, Allyn and Bacon, Inc., Toronto, Ontario, p. 345 (1976).

Mulvaney, R.L. and J.M. Bremner, "Modified Diacetyl Monoxime Method for Colourimetric Determination of Urea in Soil Extracts", Communications in Soil Science and Plant Analysis, 10, No. 7, pp. 1163-1170 (1979).

National Association of Corrosion Engineers, Corrosion Data Survey, Houston, TX (1967).

National Fire Protection Association, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, seventh edition, Boston, MA (1978).

"News/Update-Ambitious Plans for BC Gas", Canadian Chemical Processing, 66, No. 1, p. 14 (February 19, 1982).

"News/Update-More Ammonia/PE for C-I-L", Canadian Chemical Processing, Vol. 66, No. 2, p. 14 (March, 1982).

Oil and Hazardous Materials Technical Assistance Data System, U.S. Environmental Protection Agency, Oil and Special Materials Control Division, Office of Water Program Operations, Washington, DC (1981).

Olin Corporation, Material Safety Data Sheet, "Urea", Stamford, CT (February, 1981).

Olin Corporation, Industrial Chemicals Product Data, Stamford, CT (February, 1981).

Pedley, J.B. and J. Rylance, Sussex-N.P.L. Computer Analyzed Thermochemical Data: Organic and Organometallic Compounds, University of Sussex, Sussex, Brighton, England (1977).

Perry, R.H. and C.H. Chilton (eds.), Chemical Engineer's Handbook, fifth edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1973).

Pilie, R.J. et al., Methods to Treat, Control and Monitor Spilled Hazardous Materials, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, OH, EPA 670/2-75-042 (June, 1975).

Rehau, Mechan-O-Joint Water Pressure Pipe and Fittings, Montreal, Quebec (1978).

Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, fifth edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1979).

Scott's Industrial Directory of Ontario Manufacturers, 12th edition, Penstock Directories Limited, Oakville, Ontario (1979).

Sharpley, A.N., J.K. Syers and R.W. Tillman, "Transport of Ammonium- and Nitrate-Nitrogen in Surface Runoff from Pasture as Influenced by Urea Application", Water, Air and Soil Pollution, 14, No. 3, pp. 425-430 (1983).

Sherritt Gordon Mines Ltd., Material Safety Data Sheet, Fort Saskatchewan, Alberta (1978).

Sherritt Gordon Mines Ltd., Material Safety Data Sheet, "Urea", Fort Saskatchewan, Alberta (1980).

Sherritt Gordon Mines Ltd., Material Safety Data Sheet, Fort Saskatchewan, Alberta (not dated).

Sherritt Gordon Mines Ltd., Manufacturer's Literature, Toronto, Ontario (February, 1982).

Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers' Guide", Canadian Chemical Processing, Vol. 64, No. 9, Don Mills, Ontario (December, 1980).

Srivastava, P.N. and A.S. Harain, "Leucocytic and Haemostatic Reactions of the Indian Catfish, *Meterophneustes fossils*, Subjected to Environmental Pollution by Sewage, Fertilizers and Insecticides", Acta Phamacol. Toxicol., 50, No. 13 (1982).

Stockner, J.G. and C.D. Levings, Biological Reconnaissance of Yakoun River Estuary, Queen Charlotte Islands, and Results of a Trial Fertilization with Urea, Department of Fisheries and Oceans, West Vancouver, B.C., Technical Report No. 1132 (1982).

Streeter, V.L., Fluid Mechanics, fifth edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1971).

* Sullivan, W.H., Air Pollution Emissions and Control Technology, Nitrogen and Phosphate Fertilizer Industries, Air Pollution Control Directorate, Environment Canada, Ottawa, Ontario, EPS3-AP-82-2 (1982).

Toxicity Data Base, Toxicology Information On-Line, available from National Library of Medicine, Washington, DC (1981).

* Transport Canada, Transportation of Dangerous Goods Code, Vol. 1 (Lists), Vol. 2, Ottawa, Canada (June, 1980).

* Publié également en français.

Ullmanns Encyklopaedie der technischen Chemie, Verlag Chemie, Weinheim (1975).

Uniroyal Inc., Guide to Polymer Properties, Mishawaka, IN (not dated).

U.S. Department of Transportation, Coast Guard, Chemical Hazards Response Information System (CHRIS), Washington, DC (1978).

Verschueren, K., Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY, pp. 628-629 (1984).

Water Quality Criteria Data Book: Organic Chemical Pollution of Freshwater, Vol. 1, p. 310, U.S. Environmental Protection Agency, Water Quality Office, Washington, DC (1970).

Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, OH (1980).

Windholz, M., S. Budavari, L.Y. Stroumtsos and M.N. Fertig (eds.), The Merck Index, ninth edition, Merck & Co. Inc., Rahway, NJ (1976).